



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE INDICADORES FÍSICOS Y QUÍMICOS  
DE LA CALIDAD DEL SUELO Y DE LA BIODIVERSIDAD DE LA  
MESOFAUNA EDÁFICA EN DOS USOS DE SUELO DE LA  
MICROCUENCA DEL RÍO POMACOCHO, PARROQUIA  
ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.**

**AUTOR: María Elena Flores Torres**

**DIRECTOR: Ing. Álvaro Delli**

**Riobamba – Ecuador**

**2016**

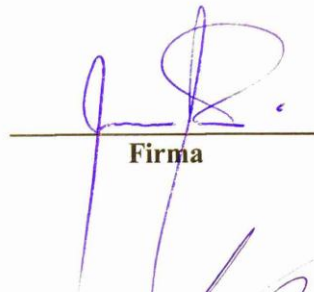
## CERTIFICADO

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **ESTUDIO COMPARATIVO DE INDICADORES FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL SUELO Y DE LA BIODIVERSIDAD DE LA MESOFAUNA EDÁFICA EN DOS USOS DE SUELO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO POMACOCHO, PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, presentado por la Señorita María Elena Flores Torres y dirigida por el Ing. Álvaro Delli.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. MSc. Iván Ríos  
**Presidente del Tribunal**



Firma

Ing. MSc. Álvaro Delli  
**Miembro del Tribunal**



Firma

Ing. MSc. Marco Pino Vallejo  
**Miembro del Tribunal**



Firma

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación **“ESTUDIO COMPARATIVO DE INDICADORES FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL SUELO Y DE LA BIODIVERSIDAD DE LA MESOFAUNA EDÁFICA EN DOS USOS DE SUELO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO POMACOCHO, PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, corresponde exclusivamente a la Srta. María Elena Flores Torres y al Director del Proyecto de Caracterización Biogeográfica de la UNACH; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



María Elena Flores Torres

**C.I. 060424660-3**

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi profundo agradecimiento a Dios por todas las bendiciones que han sido nuevas cada mañana de mi vida, y por amarme incondicionalmente.

A mis padres, hermano y familia, por el cariño, la fuerza y el apoyo incondicional que me han brindado.

Una profunda gratitud a la Universidad Nacional de Chimborazo y a los docentes de mi Carrera, especialmente a los Ingenieros: Iván Ríos, Patricio Santillán, Rolando Zabala, Patricia Andrade, Álvaro Delli y Marco Pino.

De igual manera mi más sincero agradecimiento al proyecto de la Universidad Nacional de Chimborazo “Caracterización Biogeográfica de las subcuencas hídricas para la adaptación al cambio climático considerando el paisaje cultural andino de la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo” por confiar en mí y darme su auspicio, en especial a los ingenieros, Marco Rodríguez, Diego Damián, Roberto Déley y Franklin Cargua, quienes con sus conocimientos, experiencia, paciencia y su motivación, han sido un apoyo fundamental para la elaboración de este proyecto.

Y por último, a mis amigas, Daniela Verdezoto y Edna Lemos, a mis compañeros, Ángel Quishpi, Marco Zavala y Pedro Pérez, con quienes compartí experiencias valiosas e inolvidables momentos en mi formación académica, pero en especial a Rebeca Arias, por brindarme su valiosa colaboración, apoyo y amistad incondicional.

## DEDICATORIA

A mis amados padres, Señora María Torres Tene y Señor Fernando Flores Mayorga, por la fe que siempre han tenido en mí, por todas las cosas y el amor que me han brindado sin esperar nada a cambio, por todo el apoyo que ellos han significado para mí, por toda la educación que me han sabido inculcar, por brindar su sacrificio y esfuerzo diario por el bienestar de sus hijos, por ser personas de bien, sabias, valientes y luchadoras, y por ser los mejores padres que Dios me pudo regalar.

A mi querido hermano Steeven David Flores Torres, por estar presente en los momentos que más necesitaba, por ser mi apoyo emocional, por ser mi motivación y por ser la persona que más admiro.

A mí querido novio Néstor, por su apoyo incondicional, por ser mi alma gemela y el amor de mi vida.

A mi abuelito, por ser mi segundo padre y mi inspiración, a mis tíos y primos queridos.

A ellos, con todo mi cariño les dedico el presente proyecto de tesis.

## SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

<b>μS/m:</b>	decisiemens por metro
<b>C:</b>	Carbono
<b>Ca:</b>	Calcio
<b>CE:</b>	Conductividad eléctrica
<b>cm:</b>	centímetros
<b>cm<sup>3</sup>:</b>	Centímetros cúbicos
<b>CO<sub>2</sub>:</b>	Dióxido de Carbono
<b>DAP:</b>	Densidad aparente
<b>FY:</b>	Franco arcilloso
<b>g:</b>	gramos
<b>h:</b>	hora
<b>ha:</b>	hectárea
<b>K:</b>	Potasio
<b>Kg:</b>	Kilogramos
<b>L:</b>	Litro
<b>m:</b>	metros
<b>min:</b>	minuto
<b>mm:</b>	milímetros
<b>MO:</b>	Materia Orgánica
<b>N:</b>	Nitrógeno
<b>O<sub>2</sub>:</b>	Oxígeno
<b>P:</b>	Fósforo
<b>ppm:</b>	Partes por millón
<b>Sp:</b>	Especie

## ÍNDICE GENERAL

<b>CERTIFICADO</b> .....	<b>I</b>
<b>AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>IV</b>
<b>SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XIV</b>
<b>ÍNDICE DE IMÁGENES</b> .....	<b>XVI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XVII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XIX</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>XXII</b>
I. GENERAL.....	xxii
II. ESPECÍFICOS .....	xxii
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>1</b>
A. EL SUELO .....	1
1. CALIDAD Y SALUD DEL SUELO.....	2
a. Indicadores de la calidad del suelo.....	3
1) Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo	5
2) Indicadores físicos .....	7
3) Indicadores químicos .....	8
2. LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS .....	9
3. COMPONENTES MINERALES O INORGÁNICOS DEL SUELO .....	10
4. LOS COMPONENTES ORGÁNICOS DEL SUELO.....	12
a. Materia orgánica en el suelo.....	14
1) Importancia de la materia orgánica de los suelos .....	15
5. EL AGUA DEL SUELO.....	15
6. EL AIRE DEL SUELO .....	17
a. Aireación del suelo.....	17

b. Respiración del suelo .....	19
7. PEDREGOSIDAD .....	20
8. DENSIDAD APARENTE .....	20
9. ESTRUCTURA DEL SUELO .....	21
10. LOS AGREGADOS DEL SUELO .....	23
a. Tamaño de los agregados .....	23
b. Estabilidad de Agregados.....	26
11. TEXTURA DEL SUELO .....	26
12. EL PH DEL SUELO .....	29
a. Medición del pH.....	32
1) Factores que afectan la medición del pH.....	33
13. MUESTREO DE SUELOS.....	34
a. Tipos de muestreo .....	34
1) Muestreo aleatorio simple.....	35
2) Muestreo aleatorio estratificado.....	36
3) Muestreo sistémico o regular.....	36
b. Corrección de pendiente en terrenos irregulares .....	37
B. PÁRAMO .....	39
1. PÁRAMO DE PAJONAL.....	40
C. PLANTACIONES DE PINO .....	41
1. PINO .....	42
a. Importancia Económica.....	42
b. Generalidades .....	43
c. Dendrología .....	43
d. Silvicultura .....	44
e. Propiedades tecnológicas de la madera .....	46
f. Usos .....	46
B. MESOFAUNA EDÁFICA .....	46
1. LA REGULACIÓN JERÁRQUICA DE LOS PROCESOS DEL SUELO .....	48
2. CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LA FAUNA DEL SUELO .....	48
a. Microdepredadores .....	51



b. Transformadores de la hojarasca.....	51
c. Ingenieros del ecosistema.....	51
3. OTRAS SUBDIVISIONES DE LA MESOFAUNA .....	53
a. Epigeos .....	53
b. Endogeos .....	53
c. Anécicos .....	54
3. FAUNA ASOCIADA AL SUELO MÁS REPRESENTATIVA.....	54
a. Clase Acari .....	54
b. Orden Araneae .....	55
c. Orden Díptera .....	55
d. Orden Coleóptero .....	56
e. Orden Collembola .....	57
f. Orden Haplotaxida.....	58
g. Orden Lepidóptero .....	58
4. NIVELES TRÓFICOS.....	58
D. BIODIVERSIDAD.....	59
1. ¿CUÁL ES EL MEJOR MÉTODO PARA MEDIR LA DIVERSIDAD DE ESPECIES?.....	60
2. ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD .....	61
a. Riqueza específica (S).....	61
1) Índice de diversidad de Margalef.....	62
b. Índices de dominancia.....	62
1) Índice de Simpson.....	63
c. Índices de equidad .....	63
1) Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ).....	64
d. Índices de similitud/disimilitud.....	64
1) Índice de Sorensen .....	65
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>66</b>
2.1. TIPO DE ESTUDIO .....	66
2.2. POBLACIÓN MUESTRA .....	67
2.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	68
2.4. PROCEDIMIENTOS .....	71

2.4.1. ZONIFICAR Y UBICAR LOS PUNTOS DE MUESTREO EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	71
2.4.2. ACTIVIDADES INHERENTES AL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS .....	71
2.4.3. IDENTIFICAR Y DETERMINAR EL TIPO DE SUELO, LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y LA MESOFAUNA EDÁFICA DE AMBOS USOS DE SUELO: PÁRAMO Y PLANTACIONES DE PINO .....	74
a. Textura.....	74
b. Estructura .....	74
c. Color del suelo.....	74
d. Pedregosidad .....	74
2.4.4. REALIZAR UNA CORRELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO ENTRE PÁRAMO Y PLANTACIÓN DE PINO .....	75
2.4.5. COMPARAR LOS ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD DE LA MESOFAUNA EDÁFICA EN AMBOS USOS DE SUELO .....	75
2.4.6. PROPONER ALTERNATIVAS VIABLES PARA MITIGAR EL IMPACTO PRODUCIDO POR LAS PLANTACIONES DE PINO EN EL SUELO PÁRAMO.....	76
2.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	76
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>78</b>
A. ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	78
1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	78
2. PUNTOS DE MONITOREO.....	80
B. TIPO DE SUELO, PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.....	82
1. PROPIEDADES FÍSICAS.....	82
2. PROPIEDADES QUÍMICAS.....	83
C. CORRELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO.....	84
D. MESOFAUNA EDÁFICA .....	87
1. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR TRANSECTO.....	97

2. DENSIDAD DE ESPECIES .....	103
3. ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD .....	110
<b>4. DISCUSIÓN .....</b>	<b>112</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>117</b>
5.1. CONCLUSIONES .....	117
5.2. RECOMENDACIONES .....	119
<b>6. PROPUESTA .....</b>	<b>122</b>
6.1. LEYES AMBIENTALES .....	122
6.2. POLÍTICAS Y LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS .....	124
6.3. FORMULACIÓN DE ACCIONES PARA LA MICROCUENCA.....	126
6.3.1. PARTICIPACIÓN CIUDADANA PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN .....	126
a. Objetivo .....	126
b. Lineamiento.....	127
c. Actividades .....	127
d. Actores .....	127
6.3.2. EDUCACIÓN AMBIENTAL.....	127
a. Objetivo .....	127
b. Lineamiento.....	128
c. Actividades .....	128
d. Actores .....	128
6.3.3. GESTIÓN ECONÓMICA .....	128
a. Objetivo .....	128
b. Lineamiento.....	129
c. Actividades .....	129
d. Actores .....	129
6.3.4. CREACIÓN DE INFRAESTRUCTURA.....	129
a. Objetivo .....	129
b. Lineamiento.....	130
c. Actividades .....	130
d. Actores .....	130
6.3.5. TALA DE PINUS RADIATA .....	130

a. Objetivo .....	130
b. Lineamiento.....	131
c. Actividades .....	131
d. Actores .....	131
6.3.6. REHABILITACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO.....	131
a. Objetivo .....	131
b. Lineamiento.....	132
c. Actividades .....	132
d. Actores .....	132
6.3.7. SOCIALIZACIÓN.....	132
a. Objetivo .....	132
b. Lineamiento.....	133
c. Actividades .....	133
d. Actores .....	133
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>134</b>
<b>8. APÉNDICES O ANEXOS.....</b>	<b>142</b>
ANEXO 1: AUTORÍA DE LAS FOTOGRAFÍAS .....	142
ANEXO 2: FOTOGRAFÍAS .....	142

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conjunto de indicadores físicos y químicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo .....	6
Tabla 2. Niveles de nitrógeno .....	8
Tabla 3. Niveles de fósforo .....	9
Tabla 4. Niveles críticos de Potasio .....	9
Tabla 5. Descripción general de los órdenes en taxonomía de suelos .....	10
Tabla 6. Principales clases de compuestos orgánicos en el suelo .....	12
Tabla 7. Clases texturales de suelos, según el USDA.....	29
Tabla 8. Términos descriptivos de los suelos según el pH y efectos esperables en cada rango. ....	31
Tabla 9. Factores de corrección de pendientes y ejemplos de distancias horizontales .....	38
Tabla 10. Condiciones Climáticas Óptimas para el <i>Pinus radiata</i> .....	44
Tabla 11. Requerimiento interno de nutrientes de los árboles de <i>Pinus radiata</i> . .	44
Tabla 12. Interpretaciones del Índice de Margalef.....	62
Tabla 13.- Interpretaciones del Índice de Simpson.....	63
Tabla 14. Interpretación del Índice de Shannon.....	64
Tabla 15.- Interpretaciones del Índice de Sorensen .....	65
Tabla 16. Operacionalización de la variable independiente.....	68
Tabla 17. Operacionalización de la variable dependiente.....	70
Tabla 18. Coordenadas UTM de ubicación de la microcuenca del río Pomacocho, Sistema WGS 84 .....	78
Tabla 19. Ubicación de los puntos de monitoreo .....	80
Tabla 20. Parámetros físicos del suelo .....	82
Tabla 21. Parámetros químicos del suelo.....	83
Tabla 22. Resultados de análisis de correlación lineal (Pearson) para todas las variables analizadas.....	85
Tabla 23. Resultados de los análisis correlación lineal (Pearson) entre las variables de páramo y plantación .....	85

Tabla 24. Composición taxonómica de la mesofauna edáfica presente en la microcuenca del río Pomacocho. ....	87
Tabla 25. Número de individuos colectados .....	95
Tabla 26. Índices de biodiversidad .....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triángulo Moebius para las tres dimensiones implícitas en el concepto sostenibilidad. ....	4
Figura 2. Tamaño de los agregados fino para estructura granular < 2 mm.....	24
Figura 3. Tamaño de los agregados medio para estructura granular 2 ó 5 mm. ...	24
Figura 4. Tamaño de los agregados grueso para estructura granular 5 a 10 mm...24	
Figura 5. Tamaño de los agregados muy fino para estructura en bloques < 5mm.24	
Figura 6. Tamaño de los agregados fino para estructura en bloques 5 a 10 mm..	25
Figura 7. Tamaño de los agregados medio para estructura en bloques 5 a 10mm.25	
Figura 8. Tamaño de los agregados muy fino para estructura laminar < 2 mm....	25
Figura 9. Tamaño de los agregados fino para estructura laminar 2 a 5 mm. ....	25
Figura 10. Tamaño de los agregados medio para estructura laminar 5 a 10 mm..	26
Figura 11. Triángulo textural .....	28
Figura 12. Tipo de muestreo: Aleatorio simple .....	35
Figura 13. Tipo de muestreo: Aleatorio estratificado .....	36
Figura 14. Tipo de muestreo: Sistemático o regular .....	37
Figura 15. Modelo jerárquico de los principales factores determinantes de los procesos del suelo (adaptado de Lavelle et al., 1993).....	48
Figura 16. Relaciones de interacción entre los microorganismos y los macroorganismos del suelo .....	50
Figura 17. Red Trófica del suelo.....	59
Figura 18. Diseño del monolito.....	72
Figura 19. Distribución de monolitos por transecto.....	73
Figura 20. Mapa de Ubicación del área de estudio .....	79
Figura 21. Distribución de los puntos de monitoreo .....	81
Figura 22. Clases de la mesofauna edáfica presente en páramo y plantación.....	94
Figura 23. Variación de la mesofauna en el Transecto 01 .....	97
Figura 24. Variación de la mesofauna en el Transecto 02 .....	98
Figura 25. Variación de la mesofauna en el Transecto 03 .....	99
Figura 26. Variación de la mesofauna en el Transecto 04 .....	100
Figura 27. Variación de la mesofauna en el Transecto 05 .....	101

Figura 28. Variación de la mesofauna en el Transecto 06 .....	102
Figura 29. Densidad de la mesofauna en el Transecto 01.....	104
Figura 30. Densidad de la mesofauna en el Transecto 02.....	105
Figura 31. Densidad de la mesofauna en el Transecto 03.....	106
Figura 32. Densidad de la mesofauna en el Transecto 04.....	107
Figura 33. Densidad de la mesofauna en el Transecto 05.....	108
Figura 34. Densidad de la mesofauna en el Transecto 06.....	109



## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Ubicación de puntos con el GPS .....	142
Imagen 2. Rotulación de fundas herméticas .....	142
Imagen 3. Realización de monolitos .....	143
Imagen 4. Extracción del monolito .....	143
Imagen 5. Colocación de las muestras en el cooler .....	143
Imagen 6. Transporte de las muestras al laboratorio.....	144
Imagen 7. Codificación de envases .....	144
Imagen 8. Cuarteo de monolitos .....	144
Imagen 9. Recolección manual de la mesofauna .....	145
Imagen 10. Conteo de especies .....	145
Imagen 11. Identificación de especies .....	146

## RESUMEN

Con el objetivo de determinar el efecto del cambio de uso de suelo de páramo a plantaciones de pino (*Pinus radiata*) sobre los indicadores físicos y químicos de la calidad del suelo y sobre la biodiversidad de la mesofauna edáfica, se realizó un estudio comparativo en la microcuenca del río Pomacocho de la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

Para los muestreos se consideró la extensión superficial, y las muestras se seleccionaron al azar. En el caso de la mesofauna edáfica, se realizaron 6 transectos con 5 monolitos cada uno de 25 x 25 x 30 cm de acuerdo con la metodología TSBF y las muestras fueron transportadas al laboratorio para su respectivo análisis. La macrofauna fue separada y contada manualmente e identificada al nivel taxonómico de familia. Se determinó el tipo de suelo, la textura, estructura, color, pedregosidad, densidad aparente, % de humedad, pH, conductividad eléctrica, N, P, K, Ca, % de C y MO, y se realizó una correlación entre las variables.

En sentido general, el efecto que han tenido las plantaciones de pino sobre el suelo páramo, ha sido principalmente en la alteración de la humedad, densidad aparente, materia orgánica, contenido de carbono, pH, conductividad eléctrica, N, P, K y Ca. En cuanto a la composición taxonómica de la mesofauna edáfica evaluada en ambos usos de suelo, fue mayor en el suelo de plantación, esto pudo deberse a que la plantación de pino genera un microclima regulando la temperatura y las especies lleguen a establecerse en parches de vegetación exótica dependiendo de qué tan cercanos estén estos de áreas de vegetación nativa, o que la edad de la plantación de *Pinus radiata* de este estudio oscila entre 7 a 10 años y se encuentra en estado de crecimiento y que debajo de estas plantaciones aún se hallaba pajonal.

Los cambios de uso de suelo, en los cuales las actividades antrópicas expresadas bajo el uso forestal del suelo (plantaciones de pino), están provocando alteraciones en las propiedades físicas y químicas, en cuanto a las propiedades biológicas en base a la relación, Acari/Collembola, las plantaciones de pino alteran la dinámica y la estructura trófica de las comunidades del suelo, efectos que persisten a largo plazo. Sin embargo, este estudio no puede ser generalizado.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**CENTRO DE IDIOMAS INSTITUCIONAL**

Lcda. Lorena Gallegos

18 de agosto del 2016

**ABSTRACT**

In order to determine the effect of changing the use of moorland by pine plantations (*Pinus radiata*) on the physical and chemical indicators of soil quality and biodiversity of edaphic mesofauna. A comparative study was conducted in the Pomacocho river watershed in Achupallas, Alausí canton, Chimborazo province.

The surface area was considered for the samples, which were randomly selected. In the case of the edaphic mesofauna, 6 transects 5 monoliths each of 25 x 25 x 30 cm according to the methodology TSBF and samples were transported to the laboratory for the respective examination. The macrofauna was separated and manually counted and identified to the family level. The soil type was determined, texture, structure, color, stoniness, bulk density, moisture percentation, pH, electrical conductivity, N, P, K, Ca, % C and MO, and a correlation was performed among variables.

In general, the effect that pine plantations have had on the moorland has been mainly in the moisture altering, bulk density, organic matter, carbon content, pH, electrical conductivity, N, P, K and Ca. Regarding to the taxonomic composition of the edaphic mesofauna evaluated in both land use, was higher in the soil planting. This could be because the pine plantation generates a microclimate regulating the temperature and species become established in patches of exotic vegetation depending on how close are these areas of native vegetation, or the age of the planting of *Pinus radiata* of this study ranges from 7 to 10 years and it is in a state of growth and under these plantations still was scrubland.

Changes in land use, in which anthropic activities expressed under the forest land use (pine plantations), are causing changes in the physical and chemical properties, as to the biological properties based on the relationship, Acari/Collembola, pine plantations alter the dynamics and trophic structure of soil communities, effects that persist long term. However, this study can not be generalized.





xviii

## INTRODUCCIÓN

La actividad maderera es beneficiosa para esta industria. En el Ecuador, las comunidades directamente relacionadas con esta actividad, son rurales, mismas que han optado por las plantaciones de especies exóticas, puesto que son de rápido crecimiento, entre estas constan el pino y el eucalipto.

Referente a lo anteriormente expuesto, han existido diversos programas e incentivos forestales con fines de lucro, por tanto se entiende que la sociedad está de acuerdo a un crecimiento económico que no sólo beneficia a ciertos sectores, sino también al país.

Sin embargo, el desarrollo de la sociedad se enfoca en un crecimiento económico y social sin tomar en cuenta el ámbito ambiental, es decir, no se orienta a un desarrollo sostenible.

Los páramos, al caracterizarse por una vegetación abierta y no de bosque, son considerados como áreas de aptitud forestal, razón por la cual la forestación es una de las actividades que ha cambiado el paisaje de los altos Andes ecuatorianos.

La intensificación de las plantaciones de pino en ecosistemas páramo se han tornado en un serio problema, puesto que incluye la expansión de la frontera agrícola, forestaciones extensivas y monocultivos, acarreando así consecuencias negativas al ambiente debido a que afectan al ecosistema, degradando principalmente el suelo y la biodiversidad del mismo, convirtiendo este caso al páramo, en un ecosistema vulnerable, perdiendo así una verdadera fuente de vida.

La pérdida del alto valor ecológico, hidrológico y paisajístico que posee el páramo, está incrementándose cada vez más con el paso de los años. Problemas como: la expansión de la frontera agrícola, plantaciones extensivas y monocultivos, son ya muy conocidos por la sociedad.

Sin embargo, no se ha tomado la atención necesaria al principal recurso afectado, el suelo del páramo. Gracias a este recurso, en el que existen partículas orgánicas y minerales, se puede retener el agua, y a más de ello es considerado un gran sumidero de carbono. Es decir, los servicios ambientales que brindan los páramos, son mucho más significativos que cualquier otro valor económico generado por las plantaciones de pino.

En la Microcuenca del río Pomacocho existen Plantaciones de pino, *Pinus radiata*, y a pesar de que el suelo es un recurso indispensable para cualquier clase de vida, no ha recibido de nuestra sociedad la atención necesaria, por tanto, no existe un estudio de las implicaciones que estas plantaciones han tenido en este ecosistema.

Por tanto, el objetivo principal de esta investigación no es encontrar razones para desestimar la forestación de especies exóticas, sino más bien aportar conocimientos científicos en cuanto a las consecuencias de dichas plantaciones en ecosistemas páramo, específicamente en la microcuenca del río Pomacocho, parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

Un estudio de los indicadores físicos, químicos y biológicos (mesofauna edáfica) de la calidad del suelo en dos usos de suelo: páramo y plantaciones de pino (*Pinus radiata*) en la Microcuenca del río Pomacocho de la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo, es indispensable para poseer datos sólidos sobre la variación de la calidad del suelo.

Los datos obtenidos en la investigación serán una prueba fehaciente de que existe o no una alteración en la calidad del suelo tanto física y química como biológica en los cambios de uso de suelo de páramo a plantaciones de pino, y con ello brindar una solución para un manejo sustentable del recurso suelo y consecuentemente brindar el bienestar tanto para el ambiente como para la humanidad.

Sin duda alguna, se pretende informar a la sociedad sobre el impacto que generan las plantaciones de pino sobre la calidad del suelo y con ello concientizar al cuidado

y protección de los páramos a través de la plantación de especies nativas que propicien la regeneración natural del ecosistema y orientar a las plantaciones forestales exóticas a sitios adecuados mediante una zonificación apropiada.

El presente estudio se encuentra dividido en ocho capítulos. En el primer capítulo se encuentra la fundamentación teórica en donde se profundiza la revisión bibliográfica presentada en el proyecto, con un resumen de la literatura pertinente.

El segundo capítulo expone la metodología en una expresión general que conduce a indicar como se alcanzaron los objetivos, se describe también el tipo de estudio, la población muestra, la operacionalización de variables, los procedimientos descritos en orden cronológico y el procesamiento y análisis.

En el tercer capítulo se muestran los resultados, los cuales son expuestos según el orden de los objetivos. En el capítulo cuarto se hace referencia a la discusión, en donde se exponen principios, relaciones, generalizaciones y las interpretaciones de los datos obtenidos en el capítulo anterior.

En el capítulo quinto se mencionan las conclusiones y recomendaciones. En el capítulo sexto se expone la propuesta como alternativa de solución. En el capítulo séptimo se encuentra toda la bibliografía utilizada en el presente estudio, y en el último capítulo se muestran las fotografías pertinentes para evidenciar la realización del presente estudio.

## **OBJETIVOS**

### ***I. GENERAL***

Determinar el efecto del cambio de uso de suelo de páramo a plantaciones de pino (*Pinus radiata*) sobre los indicadores físicos y químicos de la calidad del suelo y sobre la biodiversidad de la mesofauna edáfica de la microcuenca del río Pomacocho.

### ***II. ESPECÍFICOS***

Zonificar y ubicar los puntos de muestreo en el área de estudio.

Identificar y determinar el tipo de suelo, las propiedades físicas, químicas y la mesofauna edáfica de ambos usos de suelo: páramo y plantaciones de pino (*Pinus radiata*).

Realizar una correlación de los parámetros físico-químicas del suelo entre páramo y plantación de pino.

Comparar los índices de biodiversidad de la mesofauna edáfica en ambos usos de suelo.

Proponer alternativas viables para mitigar el impacto producido por las plantaciones de pino en el suelo páramo.

## JUSTIFICACIÓN

La actividad maderera en el Ecuador, tiene mucha mayor experiencia con especies exóticas como el pino y el eucalipto, y muy poca experiencia con especies nativas. Razón por la cual, las comunidades rurales optan por las plantaciones con especies exóticas a más de que estas especies son de rápido crecimiento.

Diversos estudios en la Sierra Ecuatoriana, “demostraron que el efecto de plantaciones de pino sobre el ecosistema es realmente bajo, pero casi nunca positivo en cuanto al valor ecológico” (Hofstede, Segarra, y Mena, 2003, p.51).

El impacto de plantaciones de pino es algo más claro en suelos de páramo en buen estado de conservación, lo que se puede explicar por la existencia de suelos de origen volcánico. En estos suelos existen complejos entre partículas minerales y orgánicas que retienen el agua y que protegen el humus en descomposición. Por ello, estos suelos tienen un alto contenido de materia orgánica y retienen tanto el agua como carbono. Sin embargo, ya que las plantaciones de Pino tienen un mayor uso de agua, el suelo tiende a secarse. En el caso de secarse, los suelos pierden la conexión entre partículas minerales y orgánicas, el contenido de materia orgánica disminuye y los suelos se transforman de retenedores de agua a repelentes de agua. Así, el costo de tener un beneficio económico por lo que se cultiva encima del suelo, es la pérdida de dos importantes beneficios ambientales del suelo del páramo: agua y carbono. (Hofstede et al., 2003, p.51)

La microcuenca del río Pomacocho se halla provista de páramo, el cual ha sido intervenido por plantaciones de pino (*Pinus radiata*), y a pesar de que existe información y estudios similares en diferentes países que demuestran que las plantaciones con especies exóticas acarrearán consecuencias negativas para el ecosistema páramo, aludir un deterioro en la calidad del suelo de páramo en cuanto al efecto de las plantaciones de pino (*Pinus radiata*), basándose en estudios teóricos, no sería una información íntegra y mucho menos confiable, por tanto es necesario disponer de evidencias técnicas y científicas concluyentes sobre el



impacto, sea este positivo o negativo que las plantaciones de pino generen en el suelo páramo de la microcuenca.

Motivo por el cual, es preciso poseer datos fehacientes sobre las afectaciones que tienen las plantaciones de pino en el suelo páramo en cuanto a las propiedades físicas y químicas del suelo, a más de biológicas mediante el estudio y comparación de la biodiversidad de la mesofauna edáfica en ambos usos de suelo.

Por otro lado, los resultados de la presente investigación serán un elemento clave para la toma de decisiones que beneficien no sólo al ambiente sino también a la sociedad, principalmente a la comunidad rural, la cual se encuentra directamente relacionada, aportando así a un desarrollo sostenible, el cual es el principal objetivo de un Ingeniero Ambiental.

## CAPÍTULO I

### 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### A. EL SUELO

Una delgada capa de suelo cubre la mayor parte de la superficie terrestre. Esta capa, cuyo espesor varía entre unos pocos centímetros y dos o tres metros, puede parecer insignificante comparada con la masa de nuestro planeta. Sin embargo en esos pocos centímetros, los reinos vegetal y animal se encuentran con el mundo mineral y establecen con él una relación dinámica. (Thompson y Troeh, 2002, p.1)

“Desde el punto de vista pedológico, estudia el suelo como un producto natural proveniente de la desintegración de las rocas por la acción del clima y los microorganismos” (Casanova, 2005, p.17).

Desde el punto de vista edafológico, se considera al suelo como un medio para el crecimiento de las plantas. Asimismo, debe entenderse los factores que causan las variaciones en los suelos y las formas de conservarlo y mejorar la productividad. En ambos conceptos está implícito que las formas de vida son vitales, es decir, en uno el suelo sirve de soporte a la vida (plantas y animales) y en el otro la vida (microorganismos en general) ayuda a la formación del suelo. (Casanova, 2005, p.18)

Asimismo, los primeros químicos como Liebig, consideraban el suelo como un almacén de nutrientes para los vegetales. Los primeros geólogos pronto concluyeron que el suelo es la roca meteorizada. Estos conceptos, sin ser erróneos, son incompletos. El origen de la palabra suelo ilustra otro aspecto de su carácter. Proviene del latín *solu*, que significa base o fondo. La voz *sol* en francés y *suelo* en español, se usan todavía indistintamente para designar ambos conceptos. (Thompson y Troeh, 2002, p.1)

Ahora bien, como otras palabras comunes la palabra suelo tiene varios significados, su significado tradicional se define como el medio natural para el crecimiento de las plantas. También se ha definido como un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. (FAO, 2016)

Por tanto, el suelo es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas. (FAO, 2016)

En síntesis, el suelo es un sistema en el cual la mayoría de sus propiedades físicas y químicas y los procesos que ocurren son mediados por la biota que lo habita. Los diversos organismos intervienen en los ciclos de nutrientes, regulan la dinámica de la materia orgánica, secuestran carbono y regulan la emisión de gases de invernadero, modifican la estructura física del suelo y actúan sobre el régimen del agua y la erosión. En consecuencia, mejoran la eficiencia en la adquisición de nutrientes por parte de las plantas y su estado sanitario. (Anderson, 1994; Pankhurst, 1997, como se citó en Zerbino Bardier, 2005, p.2)

## ***1. CALIDAD Y SALUD DEL SUELO***

“La calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, pero no siempre considerados sinónimos” (Doran y Parkin, 1994, como se citó en Cruz, Barra, Castillo y Gutiérrez 2004, p.90).

Siendo así que, “la calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo. (Carter et al., 1997, como se citó en Cruz et al., 2004, p.90).

Y por otro lado “el estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un

tiempo particular constituyen la salud del suelo” (Romig et al., 1995, como se citó en Cruz et al., 2004, p.90).

En resumen, “la calidad de suelo es una medida de su capacidad para funcionar adecuadamente con relación a un uso específico” (Gregorich et al., 1994, como se citó en Cruz et al., 2004, p.91).

Para referirse a un concepto con una connotación más ecológica, “la calidad del suelo es la capacidad para aceptar, almacenar y reciclar agua, minerales y energía para la producción de cultivos, preservando un ambiente sano” (Arshad y Coen, 1992, como se citó en Cruz et al., 2004, p.91).

Para concluir, una definición sintetizada por el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America, cita que la calidad del suelo es la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat. (Cruz et al., 2004, p.91)

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

A pesar de la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo. (Arshad y Coen, 1992, como se citó en Cruz et al., 2004, p.92)

Para hacer operativo este concepto, “es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo” (Dumanski et al., 1998, como se citó en Cruz et al., 2004, p.92).

Estas variables se conocen como indicadores, “pues representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición” (Dumanski et al., 1998, como se citó en Cruz et al., 2004, p.92).

Los indicadores de la calidad del suelo “son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Tales indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc)” (Dumanski et al., 1998, como se citó en Cruz et al., 2004, p.92).

Por otro lado, “los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él” (SQI, 1996, como se citó en Cruz et al., 2004, p.92).

Dichos indicadores, “no podrían ser un grupo seleccionado *ad hoc* para cada situación particular, sino que deben ser los mismos en todos los casos. Esto con el propósito de facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional” (Dumanski et al., 1998, como se citó en Cruz et al., 2004, p.92).

Sin embargo y por el contrario, se establece que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible . (Astier et al., 2002 y Hünнемeyer et al., 1997, como se citó en Cruz et al., 2004, p.92)

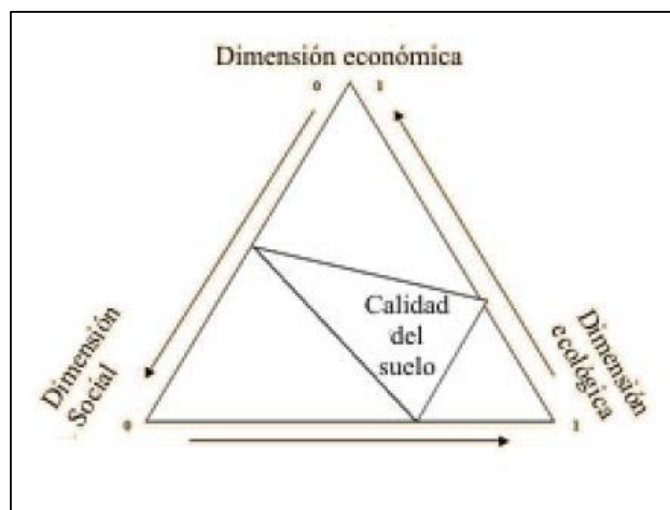


Figura 1. Triángulo Moebius para las tres dimensiones implícitas en el concepto de sostenibilidad. (Hünнемeyer et al., 1997, como se citó en Cruz et al., 2004)

En la figura 1 anteriormente expuesta, se puede evidenciar que hay tres elementos implícitos en el concepto sostenibilidad: la dimensión económica, la social y la ecológica.

Es así que, la mayoría de las definiciones de desarrollo sostenible, en sus tres dimensiones, se pueden definir de la siguiente forma:

**Sostenibilidad ecológica:** los ecosistemas mantienen a través del tiempo las características fundamentales para su sobrevivencia en cuanto a componentes e interacciones;

**Sostenibilidad económica:** el sistema bajo uso produce una rentabilidad razonable y establece a través del tiempo o que hace atractivo continuar con dicho manejo en el tiempo;

**Sostenibilidad social:** la forma de manejo y la organización social permiten un grado aceptable de las necesidades de la población involucrada. (de Camino y Müller, 1997, p.19)

El manejo sostenible puede, por lo tanto, significar distintas cosas, según la función principal del recurso o del momento histórico en que se hace una evaluación. Lo más conveniente es definir ciertos límites aceptables para cada uno de ellos y optimizar primero uno, procurando que la intensidad de los otros dos se ubique en el límite aceptable para ese momento y condición particulares. Con el transcurso del tiempo, los tres objetivos deberían ir acercándose a los óptimos ideales para cada uno de los tres componentes. (Cruz et al., 2004, p.92)

### **1) Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo**

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones:

- a) describir los procesos del ecosistema;
- b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo;
- c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir;

- d) ser sensitivas a variaciones de clima y manejo;
- e) ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo;
- f) ser reproducibles;
- g) ser fáciles de entender;
- h) ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica;
- i) y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente. (Doran y Parkin, 1994, como se citó en Cruz et al., 2004, p.93)

En virtud de que existen muchas propiedades alternativas para evaluar la calidad del suelo, se planteó un conjunto mínimo de propiedades del suelo para ser usadas como indicadores para evaluar los cambios que ocurren en el suelo con respecto al tiempo (Tabla 1). (Larson y Pierce, 1991, Doran y Parkin, 1994 y Seybold et al., 1997, como se citó en Cruz et al., 2004, p.93)

**Tabla 1**

*Conjunto de indicadores físicos y químicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo*

<b>Indicador</b>	<b>Relación con las funciones y condiciones del suelo</b>	<b>Valores o unidades relevantes, comparaciones para evaluación</b>
<b>FÍSICAS</b>		
Textura	Retención y transporte de agua y minerales; erosión del suelo.	% (arena, limo y arcilla); pérdida de sitio o posición del paisaje.
Profundidad (suelo superficial y raíces)	Estima la productividad potencial y la erosión.	cm o m
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado, productividad y erosividad.	min/2,5cm agua; g/cm <sup>3</sup>
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica.	% (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ), cm humedad aprovechable/30cm; intensidad de precipitación (mm/h).

**Tabla 1. Continúa.**

<b>Indicador</b>	<b>Relación con las funciones y condiciones del suelo</b>	<b>Valores o unidades relevantes, comparaciones para evaluación</b>
<b>QUÍMICAS</b>		
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión.	kg (C o N)/ha
pH	Define la actividad química y biológica.	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana.
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana.	dS/m; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana.
N, P, K extraíbles	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental.	kg/ha; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos.

**Fuente:** (Cruz et al., 2004)

Sin embargo, “los indicadores disponibles para evaluar la calidad de suelo pueden variar de localidad a localidad dependiendo del tipo y uso, función y factores de formación del suelo” (Arshad y Coen, 1992, como se citó en Cruz et al., 2004, p.93).

Por tanto, “la identificación efectiva de indicadores apropiados para evaluar la calidad del suelo depende del objetivo, que debe considerar los múltiples componentes de la función del suelo, en particular, el productivo y el ambiental” (Cruz et al., 2004, p.93).

## **2) Indicadores físicos**

Los indicadores físicos “son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente” (Singer y Ewing, 2000, como se citó en Cruz et al., 2004, p.94).



Por tal motivo, las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas. Así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad. (Cruz et al., 2004, p.94)

### **3) Indicadores químicos**

Los indicadores químicos propuestos (Tabla 1) se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo planta.

Es por ello que, “algunos indicadores son la disponibilidad de nutrimentos, carbono orgánico total, pH, conductividad eléctrica, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y mineralizable” (Cruz et al., 2004, p.94).

Se muestran a continuación la interpretación de los niveles críticos en cuanto a los nutrientes disponibles para la planta, N, P, K extraíbles.

**Tabla 2**  
***Niveles de nitrógeno***

<b>Nivel</b>	<b>N</b>
Muy bajo	0-5ppm
Bajo	5-10ppm
Medio	40ppm
Alto	100ppm
Muy Alto	150ppm

**Fuente:** (Brady, 1993)

**Tabla 3**

*Niveles de fósforo*

<b>Contenido de fósforo en ppm</b>	<b>Nivel</b>
0 – 15	Baja
15.1– 30	Media
30.1 – 50	Alta
50.1 – 75	Rico
>75	Muy rico

**Fuente:** (Arcos, 2008)

“Las cantidades de fósforo presente en el suelo, van desde cero hasta mayores de 75 ppm de fosforo asimilable” (Arcos, 2008).

**Tabla 4**

*Niveles críticos de Potasio*

<b>K/100g</b>	<b>Clasificación</b>
<0.15	Bajo
0.15-0.30	Medio
>0.30	Alto

**Fuente:** (Garavito, 1979)

## **2. LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Existen miles de series de suelos (demasiadas para que una sola persona pueda llegar a familiarizarse con todas ellas). Se necesitan nombres más inclusivos, que agrupen los suelos en un menor número de clases. Para este propósito se utilizan diversos sistemas de clasificación en diferentes lugares. (Thompson y Troeh, 2002, p.12)

“Uno de los niveles superiores de clasificación mejor conocidos es el de orden de suelos. La mayoría de los suelos pueden incluirse en uno u otro de los 10 órdenes establecidos” (Thompson y Troeh, 2002, p.12).

**Tabla 5*****Descripción general de los órdenes en taxonomía de suelos***

<b>Orden</b>	<b>Descripción</b>
Alfisoles	Suelos con horizonte A, de color claro o medianamente oscuro y con acumulación significativa de arcilla en el horizonte B. La mayoría de los alfisoles se forman bajo vegetación forestal.
Aridisoles	Suelos de regiones áridas. Son de colores claros y, la mayor parte de ellos presenta reacción alcalina.
Entisoles	Suelos muy jóvenes con escasa o nula diferenciación de horizontes.
Histosoles	Suelos dominados por materiales orgánicos. Se forman en condiciones húmedas o frías.
Inceptisoles	Suelos en fase temprana de desarrollo que no presentan acumulaciones de arcilla significativas.
Mollisoles	Suelos con horizonte A, espeso y de color oscuro. La mayoría se forman bajo vegetación herbácea en climas templados.
Oxisoles	Suelos muy meteorizados. La mayoría se dan en los trópicos y presentan muy escasa fertilidad.
Espodosoles	Suelos intensamente lavados de regiones húmedas y frescas. Poseen colores brillantes, acidez elevada y escasa fertilidad.
Ultisoles	Suelos intensamente meteorizados, formados en regiones cálidas y húmedas bajo vegetación forestal. Exhiben colores más rojos y menos fertilidad que los alfisoles.
Vertisoles	Suelos ricos en arcilla que, durante la estación seca, forma grietas profundas de al menos 1 cm de anchura.

**Fuente:** (USDA, 1951)

***3. COMPONENTES MINERALES O INORGÁNICOS DEL SUELO***

Antes que nada se debe saber que el tamaño de las partículas minerales en el suelo oscila entre el nivel submicroscópico de las arcillas al de las piedras de varios centímetros de diámetro. Las piezas mayores de 76 mm de diámetro se consideran

*pedras*, si son menores, pero mayores de 2 mm reciben el nombre de *gravas*. (Thompson y Troeh, 2002, p.6)

En cuanto a su capacidad de soportar crecimiento vegetal, “las piedras y gravas son inertes, pero pueden afectar a las propiedades físicas del suelo como la permeabilidad, susceptibilidad a la erosión y pueden constituir factores limitantes para las operaciones de cultivo” (Thompson y Troeh, 2002, p.6).

Debe señalarse que, las partículas minerales con diámetro menor de 2 mm se dividen en arena, limo y arcilla. El limo incluye partículas con diámetro comprendido entre 0,002 y 0,05 mm. Las partículas menores de 0,002 mm se consideran arcilla. La arcilla es mucho más activa químicamente que el limo o la arena. Los nutrientes utilizables por los vegetales se encuentran almacenados en la arcilla y en la materia orgánica del suelo. (Thompson y Troeh, 2002, p.6)

Por otra parte, la captación de nutrientes por las raíces de las plantas involucra a menudo interacciones complejas con el agua y las fases inorgánicas. Por ejemplo, un nutriente retenido por el material coloidal inorgánico tiene que atravesar la interfase mineral/agua y entonces la interfase agua/raíz. Este proceso a menudo está fuertemente influenciado por la estructura iónica de la materia inorgánica del suelo. (Manahan, 2006, p.311)

Así mismo, “los elementos más comunes en la corteza terrestre son oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio. Por consiguiente, los minerales compuestos por estos elementos –particularmente silicio y oxígeno- constituyen la mayor parte de la fracción mineral del suelo” (Manahan, 2006, p.311).

De igual manera, en la composición elemental de la materia mineral predomina el oxígeno, el cual suele sobrepasar el cincuenta por ciento en peso. De hecho, los iones oxígeno e hidroxilo son prácticamente los únicos aniones de importancia cuantitativa en los minerales del suelo más abundantes. Los principales cationes en orden usual de abundancia son: silicio, aluminio, hierro, potasio, calcio, magnesio

y sodio. Los minerales más abundantes reciben el nombre de *silicatos* o *aluminosilicatos*. Otro grupo importante es el de los óxidos, dominado por los óxidos de hierro, aluminio y silicio. (Thompson y Troeh, 2002, p.6)

#### **4. LOS COMPONENTES ORGÁNICOS DEL SUELO**

Los componentes orgánicos del suelo están constituidos básicamente por la materia orgánica y el humus.

Sin embargo, los componentes biológicamente activos de la fracción orgánica del suelo incluyen polisacáridos, aminoazúcares, nucleótidos y compuestos orgánicos de fósforo y azufre. El humus, que es un material insoluble en agua que se biodegrada muy lentamente, constituye la mayor parte de la materia orgánica del suelo. (Manahan, 2006, p.312)

En la tabla 6 se resumen más ampliamente los compuestos orgánicos presentes en el suelo.

**Tabla 6**

*Principales clases de compuestos orgánicos en el suelo*

<b>TIPO DE COMPUESTO</b>	<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>IMPORTANCIA</b>
Humus	Residuos de la descomposición de las plantas, consta principalmente de C, H y O	Es el componente orgánico más abundante, mejora las propiedades físicas del suelo, intercambia nutrientes, es depósito de N fijo.  Generalmente, constituye sólo unas unidades porcentuales de la materia orgánica del suelo. Pueden afectar adversamente las propiedades físicas del suelo, al repeler el agua. Tal vez son fitotóxicos.
Grasas, resinas y ceras	Lípidos extraíbles por disolventes orgánicos	

**Tabla 6. Continúa.**

<b>TIPO DE COMPUESTO</b>	<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>IMPORTANCIA</b>
Sacáridos	Celulosa, almidones, hemicelulosa, gomas.	Fuente principal de alimento para los microorganismos del suelo. Ayudan a estabilizar los agregados del suelo.
Compuestos orgánicos que contienen N	Nitrógeno enlazado al humus, aminoácidos, aminoazúcares, otros compuestos.	Proporcionan nitrógeno para la fertilidad del suelo.
Compuestos de P	Ésteres de fofato, fosfatos de inositol (ácido fítico), fosfolípidos.	Fuentes del fosfato de las plantas.

**Fuente:** (Manahan, 2006)

En lo esencial, la materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presenta en el suelo. El edafón consiste en los organismos vivientes del suelo o sea su flora y fauna. El humus está compuesto por los restos postmortales vegetales y animales que se encuentran en el suelo y que están sometidos constantemente a procesos de descomposición, transformación y resíntesis. De esta manera se diferencian los conceptos materia orgánica y humus. ( Fassbender, 1975, p.66)

De esta manera se entiende que, en todo caso en la fuente originaria de la materia orgánica y del humus son los restos animales y especialmente vegetales que se depositan en el suelo. La vegetación consta de tallos, hojas, flores y frutos que al depositarse en la superficie del suelo constituyen la hojarasca; cada uno de los componentes de la vegetación tiene una composición química específica. Estos residuos son objeto de su degradación o descomposición hasta los componentes elementales de las proteínas, carbohidratos, y otros, en el proceso de la mineralización. ( Fassbender, 1975, p.66)

Se plantea entonces que, “los productos resultantes pueden ser objeto de nuevos procesos de resíntesis y polimerización dando lugar a nuevos agregados químicos que reciben el nombre de ácidos húmicos, de características y propiedades específicas. Este proceso es la humificación” ( Fassbender, 1975, p.66).

#### **a. Materia orgánica en el suelo**

Se conoce que, aunque constituye típicamente menos del 5% de un suelo productivo, la materia orgánica determina en gran medida la productividad del suelo. Sirve como fuente de alimento para los microorganismos y está sometida a reacciones químicas como intercambio iónico, al mismo tiempo que influye en las propiedades físicas del suelo. Incluso, algunos compuestos orgánicos contribuyen al intemperismo de la materia mineral, proceso por el cual se forma el suelo. (Manahan, 2006, p.312)

Es preciso saber que la acumulación de materia orgánica en el suelo depende mucho de la temperatura y de la disponibilidad de oxígeno. Como la velocidad de biodegradación decrece con el descenso de la temperatura, la materia orgánica no se degrada rápidamente en los climas más fríos y tiende a acumularse en el suelo. En el agua y en suelos anegados, la vegetación en descomposición no tiene fácil acceso al oxígeno y la materia orgánica se acumula. El contenido orgánico puede alcanzar el 90% en áreas donde las plantas crecen y se descomponen en el suelo saturados con agua. (Manahan, 2006, p.313)

Sin embargo, el contenido de materia orgánica en los suelos es muy variable, alcanza desde trazas en los suelos desérticos hasta un 90-95% en los turbosos. Los horizontes A de suelos explotados agrícolamente presentan por lo general valores entre 0,1 y 10% de materia orgánica, cuyo contenido decrece con la profundidad en el perfil del suelo. ( Fassbender, 1975, p.89)

Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno de los suelos los determinan, en primera instancia, el clima y la vegetación y otros factores locales como el relieve,

el material parental, la duración de la explotación de los suelos y algunas de sus características químicas, físicas y microbiológicas. ( Fassbender, 1975, p.92)

### **1) Importancia de la materia orgánica de los suelos**

La importancia de la materia orgánica se explica por la influencia que ésta tiene sobre muchas de las características del suelo. Entre las propiedades físicas y químicas del suelo, la materia orgánica influye sobre:

1. El color, cambiándola a colores pardos oscuros o negruzcos;
2. La formación de agregados, favoreciéndola;
3. La plasticidad, cohesión, reduciéndola;
4. La capacidad de retención de agua, aumentándola;
5. La capacidad de intercambio catiónica, aumentándola mucho;
6. El intercambio de aniones, especialmente fosfatos y sulfatos, aumentándola;
7. La disponibilidad de N, P y S, favoreciéndola a través de los procesos de mineralización;
8. La regulación del pH a través del aumento de su capacidad tampón;
9. La producción de sustancias inhibitoras y activadoras del crecimiento, importantes para la vida microbiana del suelo;
10. La participación en procesos pedogenéticos, debido a sus propiedades de peptización, coagulación, formación de quelatos, y otros. ( Fassbender, 1975, p.97)

### ***5. EL AGUA DEL SUELO***

La presencia del agua en el suelo es de suma importancia para el desarrollo de las plantas ya que este contiene nutrientes en solución, sin embargo la capacidad de retención de agua en el suelo depende de su profundidad, textura, estructura y otras propiedades fundamentales. (Thompson y Troeh, 2002)

Por otra parte, el agua pura y libre posee más energía o capacidad de realizar trabajo que el agua que está en el suelo retenida por varias fuerzas. En el perfil del suelo el agua tendrá diferentes niveles de energía de una zona a otra, es por ello que el agua



tiene la tendencia a moverse de zonas donde tiene altos niveles de energía hacia niveles bajos. (Casanova, 2005, p.119)

De allí pues, que el agua en el suelo puede moverse en dos estados: líquido y gaseoso.

El movimiento del agua en estado líquido ocurre debido a gradientes de tensión y su dirección será de zonas en el suelo con baja tensión (alto contenido de humedad) a zonas con alta tensión (bajo contenido de humedad). (Casanova, 2005, p.126)

Así, “el contenido de agua o humedad que es retenida por la fracción sólida del suelo, se define como capacidad de campo (CC)” (Casanova, 2005, p.130).

Por otro parte, “el Punto de Marchitez Permanente (PMP), punto de humedad mínima en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo, no puede recuperarse de la pérdida hídrica y comienza a sufrir por déficit de humedad” (Casanova, 2005, p.131).

Por tanto, “el contenido de agua que un suelo posee entre su capacidad de campo y el punto de marchitez permanente se denomina Agua aprovechable por las plantas” (Casanova, 2005, p.131).

Sin embargo, en la mayoría de los suelos el crecimiento óptimo de las plantas se produce cuando el agua se mantiene cerca de la CC o al menos no se aproxima al PMP.

De igual manera, “la cantidad de agua que un suelo puede almacenar en forma utilizable por las plantas es conocido como *retención de agua útil*. La mayoría de los suelos pueden almacenar de 5 a 25 cm de agua útil” (Thompson y Troeh, 2002, p.99).

## **6. EL AIRE DEL SUELO**

El aire del suelo guarda una relación inversa con su agua: al aumentar la proporción de la fase líquida disminuye la proporción de la fase gaseosa bajo condiciones de capacidad de campo la proporción del aire de un suelo acuoso varía entre 30 y 40% para un suelo arenoso; para un suelo franco entre 10 y 15% y para uno arcilloso, entre 5 y 15%. (Fassbender, 1975, p.114)

De igual manera, el aire del suelo guarda cierta relación con el tamaño de los poros que se forman entre los agregados del suelo. Las arenas contienen gran cantidad de macroporos con una buena aireación y escasa retención de agua. Las arcillas, por el contrario, presentan mayor cantidad de microporos que en cambio están llenos de agua. Se considera que un suelo que contenga entre el 10 y 15% de aire está bien aireado. (Fassbender, 1975, p.114)

Por otra parte, la composición del aire del suelo varía ligeramente en comparación con el aire atmosférico. Solamente el contenido en CO<sub>2</sub> aumenta debido a los procesos de respiración de las raíces y de los microorganismos en los que se utilizan grandes cantidades de O<sub>2</sub> y se produce CO<sub>2</sub>. Así se produce un enriquecimiento en CO<sub>2</sub>, cuyo contenido normalmente varía en el aire del suelo entre 0.2 y 0.7%; en comparación, el contenido de CO<sub>2</sub> en el aire atmosférico es de 0.03%. (Fassbender, 1975, p.114)

De esta manera, el contenido en O<sub>2</sub> baja proporcionalmente de 20.96% en la atmósfera a 20.30% en el aire del suelo. El contenido de CO<sub>2</sub> aumenta generalmente con la profundidad de los suelos. En casos extremos, como en los suelos inundados, en los pantanosos y en los compactos, el contenido en CO<sub>2</sub> puede llegar hasta 5 o 10% con efectos muy nocivos. (Fassbender, 1975, p.114)

### **a. Aireación del suelo**

La aireación del suelo es el proceso mediante el cual se produce un intercambio dinámico de gases, de manera que el O<sub>2</sub> se mueve de la atmósfera al

suelo y el CO<sub>2</sub> se mueve en la dirección contraria. Este transporte de gases puede realizarse en tres formas:

a) El O<sub>2</sub> “es disuelto y llevado al interior del suelo por el agua de lluvia. Su contribución a la aireación del suelo es muy pequeña debido a la baja solubilidad del O<sub>2</sub> en agua” (Casanova, 2005, p.142).

b) Flujo de masas, el cual ocurre por cambios de presión creados por la turbulencia del viento sobre la superficie del suelo. El cambio en temperatura de los primeros centímetros del suelo puede producir un flujo de masa significativo; sin embargo, el aporte de este transporte de gases a la aireación total del suelo es relativamente poco importante. (Casanova, 2005, p.142)

c) Difusión de moléculas de gases a través del espacio poroso. La mayor parte del intercambio gaseoso en el suelo ocurre por el proceso de difusión, en el cual cada gas tiende a moverse en una dirección determinada por su presión parcial o concentración. (Casanova, 2005, p.142)

El gradiente de concentración será el responsable del movimiento de los gases, de manera que una alta concentración de O<sub>2</sub> en la atmósfera resultará en un movimiento hacia el suelo y un movimiento opuesto ocurre con el CO<sub>2</sub>, ya que generalmente la concentración de CO<sub>2</sub> es superior en el suelo que en la atmósfera. (Casanova, 2005, p.142)

De igual manera, “la aireación de un suelo se verá afectada por las características del suelo, como su grado de compactación, contenido de humedad, estructura, época del año, profundidad del suelo y tipo de drenaje” (Casanova, 2005, p.142).

Se debe señalar también que, el contenido y tipo de materia orgánica en el suelo también afecta las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, ya que la actividad de los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica conjuntamente con el proceso respiratorio de las raíces, son los responsables de la alta concentración de CO<sub>2</sub> en los suelos. (Casanova, 2005, p.142)

Por tanto, así como hay factores que afectan la composición del aire del suelo, también hay actividades en el suelo que se verán afectadas, dependiendo de la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> que tenga un suelo. Los efectos más importantes se presentan sobre la actividad biológica de los microorganismos y sobre el desarrollo radical de las plantas. (Casanova, 2005, p.142)

### **b. Respiración del suelo**

La respiración, “es la producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como resultado de la actividad biológica en el suelo, realizada por microorganismos, raíces vivas, y macroorganismos tales como lombrices, nemátodos o insectos” (Parkin et al., 1996, como se citó en USDA, 1999, p.52).

De igual manera, “el dióxido de carbono emitido desde el suelo es un gas incoloro e inodoro que entra en la atmósfera y anualmente supera la cantidad emitida por todas las actividades humanas” (Volk, 1994, como se citó en USDA, 1999, p.52).

En todo caso, “la respiración del suelo es altamente variable, tanto espacialmente como estacionalmente, y está fuertemente afectada por condiciones de humedad y temperatura. Dado que esta variable puede complicar las interpretaciones, deben tomarse ciertas precauciones durante el muestreo” (USDA, 1999, p.52).

Por tanto, conocer la historia del sitio de muestreo y las características de los suelos cercanos se torna muy importante al evaluar la respiración. El color del suelo puede proveer alguna ayuda al interpretar índices de respiración. Un suelo de color claro, con un elevado índice de respiración puede ser indicativo de un suelo que está perdiendo su materia orgánica. (USDA, 1999, p.52)

Por otro lado, un suelo relativamente más oscuro con el mismo índice de respiración podría ser considerado sano. El color oscuro indica la presencia de materia orgánica. Las labranzas y la cultivación pueden ocasionar la pérdida de carbono del suelo y un aumento del CO<sub>2</sub> liberado. El suelo es aflojado, lo cual crea mejor accesibilidad para el oxígeno necesario para la respiración y descomposición de la materia

orgánica, produciendo una liberación de CO<sub>2</sub>. (Reicosky y Lindstrom, 1995, como se citó en USDA, 1999, p.52)

## **7. PEDREGOSIDAD**

La pedregosidad es la condición superficial del suelo donde se presenta cierta cantidad de piedras, convirtiéndose en un obstáculo físico para la preparación del suelo por su acción sobre los instrumentos de labranza, y para la siembra del cultivo llegando a impedir la misma cuando su contenido es muy elevado.

La pedregosidad puede ser determinada con base a los porcentajes de piedras mayores a 4,5 mm encontradas en el suelo de la siguiente forma:

**< 5 %:** Libre o ligeramente pedregosa. Con ninguna o muy pocas rocas de tamaño pequeño dispersas sobre la superficie y perfil del suelo.

**5 a 20 %:** Moderadamente pedregosa. Con pocas rocas distribuidas sobre la superficie y perfil del suelo.

**51 a 90 %:** Muy pedregosa. Rocas de todo tamaño repartidas entre un 50 a 90 % la superficie y perfil del suelo.

**> 91 %:** Extremadamente pedregosa. Rocas de todo tamaño repartidas por todas partes cubriendo entre el 90 y 100 % de la superficie y perfil. (Manual de campo del Ministerio del Ambiente, 2012, p.37)

## **8. DENSIDAD APARENTE**

La densidad aparente “se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g/cm<sup>3</sup>). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso” (Keller y Håkansson, 2010, como se citó en Rojas, 2015, p.1).

Además, es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes. (Taboada y Alvarez, 2008, como se citó en Rojas, 2015, p.1)

## **9. ESTRUCTURA DEL SUELO**

La estructura del suelo es el arreglo y organización de las partículas en el suelo. Está fuertemente afectada por cambios en el clima, la actividad biológica, y las prácticas de manejo. La estructura del suelo afecta la retención y transmisión de agua y aire en el suelo, así como las propiedades mecánicas del suelo. La observación y descripción de la estructura del suelo en el campo es subjetiva y cualitativa. (USDA, 1999, p.76)

Se ha de decir que, la estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados. (FAO, 2014)

Por otro lado, la estabilidad de la estructura expresa la solidez de los agregados, es decir, la resistencia que ofrecen los agregados a la acción degradante de factores externos, en especial la del agua. Su importancia reside en que está relacionada con las propiedades físicas del suelo (aireación, conductividad hidráulica, penetración de las raíces, hábitat físico, entre otras). (Porta, López, y Poch, 2014, p.165)

De esta manera, “la agregación del suelo puede asumir diferentes modalidades, lo que da por resultado distintas estructuras de suelo. La circulación del agua en el suelo varía notablemente de acuerdo con la estructura” (FAO, 2014).

En un suelo se puede hablar de macroestructura o microestructura:

**Macroestructura:** se ve a simple vista y es el arreglo de las partículas secundarias y primarias.

**Microestructura:** “es el arreglo de las partículas primarias para formar las secundarias” (Crosara, 2015).

Otra clasificación de la macroestructura se presenta a continuación:

**a) Migajosa:** “presenta unidades esféricas o casi esféricas, con bordes y caras más o menos redondeados, con poca cantidad de puntos de contacto y con gran cantidad de espacio entre ellos como es el caso de la arena” (USDA, 1951).

**b) Granular:** “agregados sin apenas poros en su interior, de forma redondeada (no se ajustan a los agregados vecinos). Es similar a la migajosa pero con los agregados compactos. Típicamente de los horizontes A” (USDA, 1951).

**c) Angular (o en bloques angulares):** “agregados de forma poliédrica, con superficies planas, de aristas vivas y con vértices. Las caras del agregado se ajustan muy bien a las de los agregados vecinos. Típicamente en los horizontes B” (USDA, 1951).

**d) Subangular (o en bloques subangulares):** “agregados de forma poliédrica, con superficies no muy planas, de aristas romas y sin formación de vértices. Las caras del agregado se ajustan moderadamente a las de los agregados vecinos. Típicamente en los horizontes arcillosos, como son los hz. B” (USDA, 1951).

**e) Prismática:** presenta agregados con caras definidas y es a través de ellas que se realiza el contacto, rompiéndose los mismos por estas caras; los agregados son densos y en general menos porosos que los de la estructura granular. Los bloques se desarrollan en una dirección (vertical) más que en las dos horizontales. Presente en los horizontes más arcillosos, a veces hz. B y en ocasiones hz. C. (USDA, 1951)

**f) Columnar:** prismas con su cara superior redondeada. Estructura muy rara. (USDA, 1951)

**g) Laminar:** cuando los agregados se desarrollan en dos direcciones horizontal y vertical. Típica de los horizontes E. (USDA, 1951)

**h) Sin estructura:** cuando no hay desarrollo de agregados. Horizontes de partículas sueltas (pulverulentos) o masivos (endurecidos). (USDA, 1951)

## **10. LOS AGREGADOS DEL SUELO**

Un agregado “es una unidad tridimensional de estructura de un suelo que resulta de la unión de partículas individuales por procesos naturales” (Porta et al., 2014, p.165).

Por tanto, “los agregados, o unidades estructurales, constituyen agrupaciones naturales de partículas primarias (arena, limo y arcilla) que ocurren y persisten en el suelo. Su origen natural los distinguen de las terrones” (Thompson & Troeh, 2002, p.64).

Por otro lado, “un terrón es el resultado de un proceso artificial, como puede ser el haber labrado un suelo demasiado húmedo” (Porta et al., 2014, p.165).

Continuando con el tema, los agregados presentan diferentes formas: por su tamaño pueden ser gruesos, medios o finos, y por su grado de desarrollo, débiles moderados o fuertes.

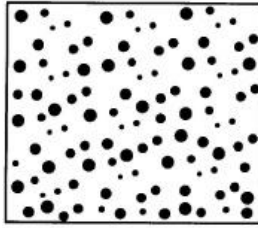
La detección de los agregados débiles requiere una observación atenta, mientras que los fuertes son inmediatamente visibles y pueden separarse unos de otros con facilidad.. (Thompson y Troeh, 2002, p.64)

### **a. Tamaño de los agregados**

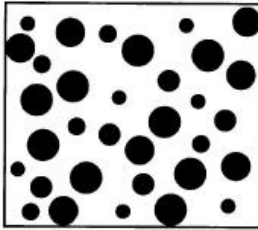
“Observe el tamaño de los agregados o “peds”. A diferentes profundidades” (USDA, 1999, p.25).

Estime el tamaño general de los agregados o “peds”. Si la estructura es granular, elija entre los tamaños de gránulos fino (Figura 2), medio (Figura 3) y grueso (Figura 4).

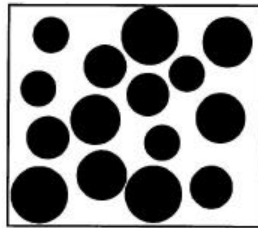




*Figura 2.* Tamaño de los agregados fino para estructura granular < 2 mm. (USDA, 1999)

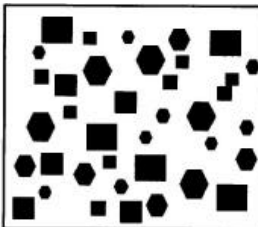


*Figura 3.* Tamaño de los agregados medio para estructura granular 2 ó 5 mm. (USDA, 1999)

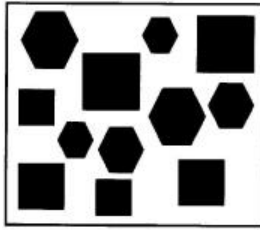


*Figura 4.* Tamaño de los agregados grueso para estructura granular 5 a 10 mm. (USDA, 1999)

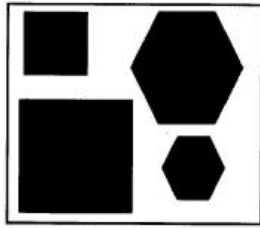
Si la estructura es en bloques, elija entre tamaños de bloques muy fino (Figura 5), fino (Figura 6), y medio (Figura 7).



*Figura 5.* Tamaño de los agregados muy fino para estructura en bloques < 5 mm. (USDA, 1999)



*Figura 6.* Tamaño de los agregados fino para estructura en bloques 5 a 10 mm. (USDA, 1999)



*Figura 7.* Tamaño de los agregados medio para estructura en bloques 5 a 10 mm. (USDA, 1999)

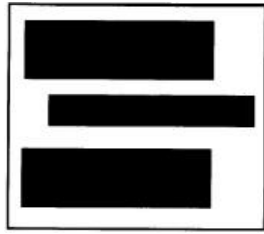
Si la estructura es laminar, elija entre los tamaños de láminas fino (Figura 8), medio (Figura 9) y grueso (Figura 10).



*Figura 8.* Tamaño de los agregados muy fino para estructura laminar < 2 mm. (USDA, 1999)



*Figura 9.* Tamaño de los agregados fino para estructura laminar 2 a 5 mm. (USDA, 1999)



*Figura 10.* Tamaño de los agregados medio para estructura laminar 5 a 10 mm. (USDA, 1999)

### **b. Estabilidad de Agregados**

La estabilidad de agregados es una medida de la vulnerabilidad de los agregados del suelo frente a fuerzas externas destructivas. La fuerza destructiva en este ensayo es el agua corriente. Los agregados que se resisten a las fuerzas del agua son denominados agregados estables al agua (AEA). (USDA, 1999, p.69)

En general, “cuanto mayor sea el porcentaje de agregados estables tanto menor será la erodabilidad del suelo” (USDA, 1999, p.69).

La destrucción de agregados “es el primer paso hacia el desarrollo de costras y sellado superficial, los cuales impiden la infiltración del agua e incrementan la erosión” (USDA, 1999, p.69).

## ***11. TEXTURA DEL SUELO***

A menudo, se habla de la textura y la estructura del suelo como si se tratase de lo mismo, y se comete un error. Aunque el término "textura del suelo" se refiere a tamaños específicos de partículas del mismo, el término "estructura de suelo" se refiere a la agrupación de dichas partículas, tales como el limo, la arena y la arcilla.

Es así que, en el suelo existen diversas partículas, entre las cuales las más importantes difieren por su tamaño y se clasifican como arenas, limos y arcillas. La

textura es la proporción que hay de cada una de ellas en el suelo, y se expresa en porcentaje (%). (Cock, Álvarez, y Estrada, 2010, p.8)

Por tanto, “la textura de suelo es la propiedad física derivada de la composición granulométrica, constituida por arena, limo y arcilla, cuyos diámetros están contempladas en la escala de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo” (Ministerio del Ambiente, 2014, p.5).

Así, “la textura de un suelo se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla expresados como porcentajes en peso. A diferencia de otras propiedades físicas, la textura es una característica permanente de los suelos”. (Casanova, 2005, p.80).

También “influye en procesos de retención y almacenamiento de agua y oxígeno, en la fertilidad, la porosidad y el drenaje, entre otros.

Es preciso mencionar que las manos humanas son sensibles a la diferencia de tamaños de las partículas de tierra, de manera que estamos en posibilidad de determinar la textura o sentir al tacto la contextura de la tierra. Así, por ejemplo, sentimos la arena áspera, el limo suave o harinoso y la arcilla pegajosa y dura. (Cock et al., 2010, p.8)

Los contenidos de estas tres fracciones minerales del suelo permiten clasificarlos texturalmente usando el triángulo textural. Nombres como arenoso, limoso arcilloso, franco, se originan después de muchos años de estudios de suelos y hoy en día se usan con regularidad en casi todos los países del mundo. (Casanova, 2005, p.80)

El triángulo textural de la figura 11 está dividido en doce áreas, en las cuales están representados todas las posibles proporciones de arena, limo y arcilla. Las flechas exteriores de la figura 11 indican la forma de entrar en el triángulo con los porcentajes de arena, limo y arcilla, y la intersección de las líneas en un punto y en un área definen el nombre textural del suelo. (Casanova, 2005, p.80)

Las doce clases texturales pueden representar tres grupos de suelos:

1. *Arenosos*: donde la arena representa más del 70% de la fracción sólida del suelo.

En este grupo se reconocen las texturas arenosa y areno-francosa.

2. *Arcillosos*: suelos de este grupo poseen mínimo 35% de arcilla y en la mayoría de los casos más del 40%. Las texturas arcillo-arenosos, arcillo-limoso y arcilloso, son típicas de este grupo de suelos.

3. *Franco*: un suelo franco ideal podría ser definido como una mezcla de arena, limo y arcilla; pero las propiedades que estas fracciones ofrecen al suelo son aproximadamente iguales. En este grupo hay seis clases texturales y la mayoría de los suelos de importancia agrícola normalmente pertenecen a este grupo textural. (Casanova, 2005)

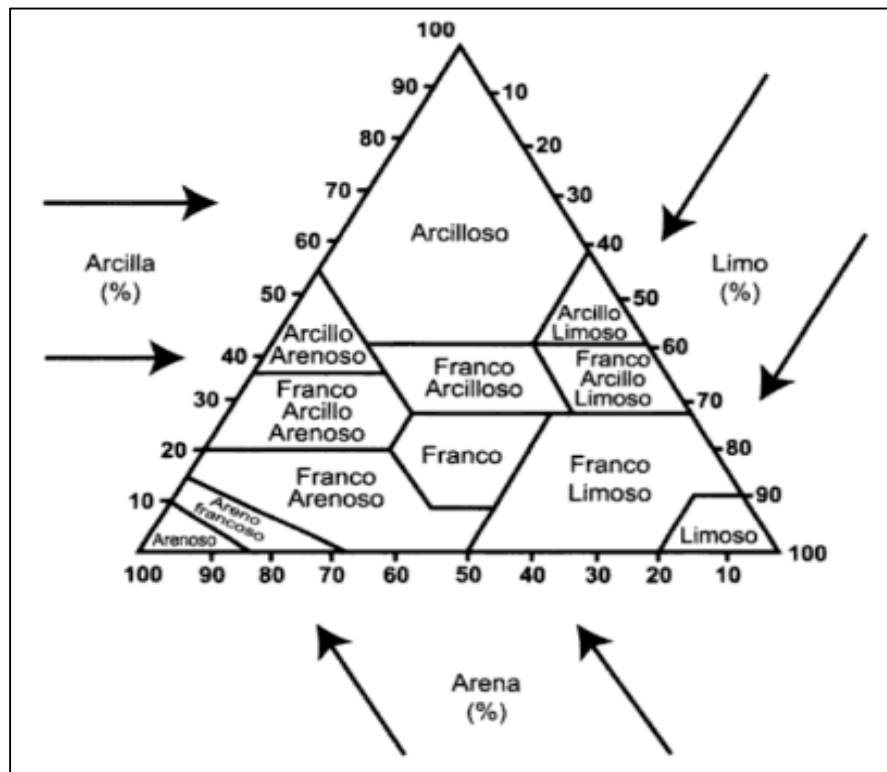


Figura 11. Triángulo textural. Señala la relación entre la clase textural y la distribución de tamaño de partículas. Al usar esta figura se proyectan líneas desde el porcentaje de arena, limo y arcilla en forma paralela a los diferentes lados del triángulo. (Casanova Olivo, 2005)

En la siguiente tabla, se exponen las clases texturales de suelos, según el USDA.

**Tabla 7**

*Clases texturales de suelos, según el USDA*

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

**Fuente:** (FAO, 2014)

## **12. EL PH DEL SUELO**

Así como la temperatura es uno de los índices más importantes en el diagnóstico del estado de salud en los humanos, el pH del suelo es uno de los parámetros más

solicitados en los análisis del suelo, debido a que afecta la mayoría de los procesos biológicos, incluyendo el crecimiento de las plantas. Reacciones extremas en los suelos, tales como fuerte acidez o fuerte alcalinidad son indicativas de condiciones que interfieren con esos procesos. (Casanova, 2005, p.205)

Se conoce que, el pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo, y afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos, y la solubilidad de minerales del suelo. Factores importantes que afectan el pH edáfico son temperatura y precipitaciones, que controlan la intensidad del lixiviado y la meteorización de los minerales del suelo. La acidez por lo general está asociada con suelos lixiviados; la alcalinidad mayormente aparece en regiones más secas. Sin embargo, prácticas agrícolas, tales como el encalado o el agregado de fertilizantes de amonio, puedan alterar el pH. La medición de pH significa en realidad medir la actividad del ión  $[H^+]$  en la solución del suelo. (USDA, 1999, p.63)

El pH “es el indicador normalmente utilizado para estimar el grado de acidez o basicidad del suelo. Es un valor que expresa la actividad del ión hidrógeno ( $H^+$ ) en la solución del suelo” (Campillo y Sadzawka, 2015, p.52).

La actividad de un ión, “puede definirse como la concentración efectiva de ese ión en una solución. El pH del suelo se define como el logaritmo (en base 10) negativo del ión hidrógeno, o lo que es igual:  $pH = \log \frac{1}{[H^+]}$ ” (Campillo y Sadzawka, 2015, p.52).

Por lo tanto, “este valor para el agua pura sería 7 y es indicativo de un equilibrio entre iones  $H^+$  y  $OH^-$ ” (Casanova Olivo, 2005, p.206).

Cuando “el pH de la solución de suelo baja, por ejemplo, de 6 a 5, ello significa un aumento de 10 veces en la concentración de iones hidrógenos y, también, una disminución equivalente de iones hidroxilos” (Sadzawka y Campillo, 1999, como se citó en Campillo y Sadzawka, 2015, p.52).

Es preciso saber que, hace pocos años se aceptaba la definición de suelos neutros a aquellos que tenían un valor de pH= 7. Sin embargo, hoy en día se sabe que un suelo neutro puede ser definido en un rango de pH más que en un valor específico. (Casanova, 2005, p.206)

Sin embargo, aunque la cantidad de H en la solución de suelo normalmente es pequeña, la actividad de estos iones es muy importante. Las formas químicas de muchos elementos del suelo y los procesos microbianos que ocurren en el suelo están tan estrechamente relacionados al pH que no existe otra medida del suelo que integre tanta información. Algunos elementos influenciados por el pH son nutrientes esenciales para las plantas, por lo cual el pH afectará la nutrición de los cultivos. (Campillo y Sadzawka, 2015, p.53)

“Otros elementos son tóxicos cuando se presentan en cantidades excesivas y el pH del suelo ayuda a determinar cuando es probable que se manifieste toxicidad” (Campillo y Sadzawka, 2015, p.53).

### **Tabla 8**

***Términos descriptivos de los suelos según el pH y efectos esperables en cada rango.***

<b>Término descriptivo</b>	<b>Rango de pH</b>	<b>Efectos esperables</b>
Extremadamente ácido	< 4,5	Condiciones muy desfavorables.
Muy fuertemente ácido	4,5 - 5,0	Toxicidad de Al <sup>+3</sup> y exceso de Co, Cu, Fe, Mn y Zn.
Fuertemente ácido	5,1 - 5,5	Deficiencia de Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Actividad bacteriana escasa.
Moderadamente ácido	5,6 - 6,0	Adecuado para la mayoría de los cultivos.
Ligeramente ácido	6,1 - 6,5	Máxima disponibilidad de nutrientes.
Neutro	6,6 - 7,3	Mínimos efectos tóxicos Bajo pH 7,0 no hay carbonato de calcio.



Tabla 8. *Continúa.*

<b>Término descriptivo</b>	<b>Rango de pH</b>	<b>Efectos esperables</b>
Ligeramente alcalino	7,4 - 7,8	Suelos generalmente con CaCO <sub>3</sub>
Moderadamente alcalino	7,9 - 8,4	Disminuye la disponibilidad de P Deficiencia creciente de Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Clorosis férrica.
Fuertemente alcalino	8,5 – 9,0	En suelos no sódicos, puede haber MgCO <sub>3</sub> . Mayores problemas de clorosis férrica. Toxicidad de B.
Muy fuertemente alcalino	> 9,0	Presencia de carbonato de sodio Suelo sódico Toxicidad de B y Na Deficiencias de micronutrientes excepto Mo. Actividad microbiana escasa Condiciones muy desfavorables.

Fuente: (Campillo & Sadzawka, 2015)

### **a. Medición del pH**

Existen varios métodos para la determinación del pH de un suelo, unos más precisos que otros. El método mas usado en el laboratorio es denominado <electrométrico> y consiste de un aparato medidor de pH y un electrodo, el cual es introducido en la suspensión suelo-agua estableciéndose un potencial eléctrico proporcional a la concentración de iones H<sup>+</sup> en la solución del suelo. Este potencial es registrado por un medidor que tiene una escala graduada directamente en pH. (Casanova, 2005, p.206)

En la actualidad, existen medidores de pH con escala digital que pueden detectar hasta tres decimales en la lectura del pH. Otro método para la determinación del pH es el uso de indicadores, los cuales cambian de color según el pH de la solución, pero son poco prácticos en suelos y menos precisos. (Casanova, 2005, p.206)

Uno de los aspectos más importantes al medir el pH de un suelo, es la relación suelo-agua, ya que en general al aumentar el contenido de agua, por ejemplo, de una relación 1:1 a una 1:5, se produce un efecto de dilución de los iones  $H^+$  en la solución y por tanto un aumento en el pH. (Casanova, 2005, p.207)

La absorción de iones amonio  $(NH_4)^+$  ocurre más rápidamente a valores de pH neutros en el suelo, aproximadamente en el ámbito de 6,5 a 7,0. La absorción se reduce si en el suelo hay valores de pH ácidos, menores de 5,5 unidades de pH. (Kass, 2002, p.41)

### **1) Factores que afectan la medición del pH**

La medición del pH es influenciada por:

**a. Efectos de dilución.** Al aumentar la relación suelo seco: solución o agua, se observa una tendencia de aumento del pH. Esto es explicable por las tendencias de aumento de iones divalentes en la cubierta del complejo de cambio al aumentar el volumen total de la suspensión. (Fassbender, 1975, p.176)

**b. Efecto de sales solubles.** El pH de la suspensión disminuye al aumentar la concentración de sales neutrales como NaCl,  $CaSO_4$ . Así, el pH medido en KCl 1N es hasta 0,5 unidades menor que el medido en solución 0,1N. (Fassbender, 1975, p.176)

**c. Efecto del anhídrido carbónico,  $CO_2$ ,** al aumentar la presión de  $CO_2$ , disminuye el pH del suelo. Esto se explica por la producción de H de acuerdo a la fórmula:  $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^-$ . (Fassbender, 1975, p.176)

En los suelos calcáreos el contenido potencial de  $CO_2$  es alto, por lo que es necesario tener en cuenta esta variación en la medición del pH. (Fassbender, 1975, p.176)

### **13. MUESTREO DE SUELOS**

El muestreo es el primer paso a efectuar para realizar un análisis de suelos y es la actividad por medio de la cual se toman partes representativas de un todo llamado población, con el objeto de conocer la población total a partir del estudio de las características de cada una de esas partes. (Sepúlveda, Velasco, y de la Rosa, 2005, p.38)

Por tanto, “para la realización de cualquier tipo de muestreo, previamente se debe elaborar un plan de muestreo que contenga la información y programación relacionada con los objetivos del muestreo” (Ministerio del Ambiente, 2014, p.7).

De la misma manera, para el plan del muestreo de suelos, es necesario definir claramente los objetivos que permitan un óptimo proceso de levantamiento de la información necesaria para la descripción del sitio, definiendo: i) el área en la que se focalizarán los esfuerzos de muestreo, ii) objetivos del plan de muestro, iii) los tipos de muestreo según los objetivos definidos, vi) la determinación de la densidad, y posición de puntos de muestreo, v) los procedimientos de campo, vi) los métodos de conservación de muestras, y vii) las necesidades analíticas a desarrollarse. (Ministerio del Ambiente, 2014, p.7)

En resumen, el muestreo es la actividad por la que se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio, en tanto que la muestra puede ser definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando y las muestras que serán enviadas al laboratorio, constituyen las muestras elegidas para ser analizadas de acuerdo a los objetivos establecidos. (Ministerio del Ambiente, 2014, p.14)

#### **a. Tipos de muestreo**

El muestreo representativo juega un papel muy importante en la calidad y la utilidad de los datos analíticos. El muestreo representativo debe tener altos niveles de precisión y exactitud, que garanticen que una muestra o grupo de

muestras sea representativa y proporcione con precisión las características del sitio, además de que los resultados sean reproducibles. A medida que se incrementa el número de muestras, aumenta la exactitud y la precisión. El diseño de un muestreo puede ser: (Mason, 1992, como se citó en Sepúlveda et al., 2005, p.39)

### **1) Muestreo aleatorio simple**

Este tipo de muestreo “se emplea en casos en los que se dispone de poca información acerca de las características de la población a medir; se basa en la teoría de probabilidades y siempre requiere de un análisis estadístico” (Mason, 1992, como se citó en Sepúlveda et al., 2005, p.40).

Este tipo de muestreo “permite todas las combinaciones posibles de unidades de muestras a seleccionar. Los puntos de muestreo se ubican en un plano cartesiano  $(X_i, Y_j)$ , en donde cada punto de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado” (Mason, 1992, como se citó en Sepúlveda et al., 2005, p.40).

Es así que “este tipo de muestreo es recomendable para áreas homogéneas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la zona” (Valencia y Hernández, 2002, como se citó en Sepúlveda et al., 2005, p.40).

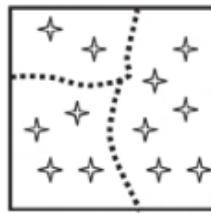


*Figura 12.* Tipo de muestreo: Aleatorio simple. (Mason, 1992, como se citó en Sepúlveda et al., 2005)

## **2) Muestreo aleatorio estratificado**

En este tipo de muestreo, “la población en estudio se subdivide en estratos o subgrupos que tienen cierta homogeneidad en el terreno y en cada estrato se realiza un muestreo aleatorio simple” (Valencia y Hernández, 2002, como se citó en Sepúlveda et al., 2005).

El requisito principal para aplicar este método de muestreo es el conocimiento previo de información que permita subdividir la población. Además, se necesita una variable auxiliar en correlación con la de interés y que los estratos tengan similitud física para la facilidad del muestreo. (Valencia y Hernández, 2002, como se citó en Sepúlveda et al., 2005)

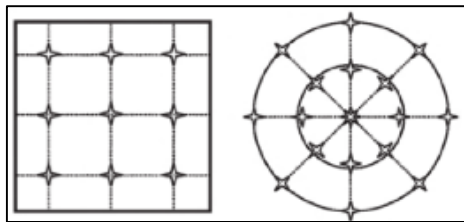


*Figura 13.* Tipo de muestreo: Aleatorio estratificado. (Mason, 1992, citado en Sepúlveda, Velasco Trejo, y de la Rosa Pérez, 2005)

## **3) Muestreo sistemático o regular**

El muestreo sistemático es una herramienta que puede utilizarse para reducir la variabilidad de las muestras. Este método consiste en ubicar las muestras en un patrón regular en toda la zona de estudio. Puede realizarse a partir de un punto determinado al azar, a partir del cual se establece cierta distancia para ubicar los demás puntos (a distancias uniformes entre sí). Este tipo de muestreo puede realizarse por rejilla rectangular o polar. (Mason, 1992, como se citó en Sepúlveda et al., 2005, p.41)

De la misma manera, este tipo de muestreo puede llevarse a cabo en superficies de cualquier tamaño, dado que las muestras pueden ubicarse de acuerdo con las dimensiones y forma del terreno, es decir, la distancia equidistante entre los puntos de muestreo pueden ser de unos centímetros, metros o hasta kilómetros, lo cual depende del tipo de estudio que se esté realizando. (Valencia y Hernández, 2002, como se citó en Sepúlveda et al., 2005, p.42)



*Figura 14.* Tipo de muestreo: Sistemático o regular. (Mason, 1992, citado en Sepúlveda et al., 2005)

#### **b. Corrección de pendiente en terrenos irregulares**

Para trazar las parcelas “todas las distancias deben ser horizontales, ya que las áreas de la parcela se refieren a un plano horizontal. Es así que para terrenos irregulares se deben hacer las correcciones de pendiente” (Manual de campo del Ministerio del Ambiente, 2012, p.29).

Existen 2 métodos de corrección fáciles de aplicar en el campo:

1. El primero es midiendo directamente distancias horizontales con la cinta métrica o con la ayuda de o con la ayuda de dos varas y una cinta de dimensión exacta; este método es útil cuando la pendiente no es pronunciada y consiste en colocar la cinta métrica o las cintas entre las varas en línea horizontal. (Manual de campo del Ministerio del Ambiente, 2012, p.29)
2. El segundo método, consiste en el cálculo de la distancia sobre el terreno inclinado que representa la distancia horizontal utilizando el ángulo de la pendiente; este método se recomienda para pendientes mayores del 15%; el cálculo se puede hacer de 2 formas: (Manual de campo del Ministerio del Ambiente, 2012, p.29)

Medir el ángulo en grados con el clinómetro Suunto y la distancia sobre el terreno de una distancia horizontal conocida, luego se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$D_{\text{terreno}} = \frac{D_{\text{horizontal}}}{\cos \alpha}$$

Dónde D = distancia

$\alpha$  = ángulo de la pendiente en grados

En la práctica se recomienda medir la distancia en el terreno usando factores de conversión (tabla 9). Por ejemplo, si desea medir la distancia horizontal de 20 m, en un terreno inclinado de 20%, debe multiplicar  $20 \times 1,0198 = 20,39$ . (Manual de campo del Ministerio del Ambiente, 2012, p.29)

**Tabla 9**

*Factores de corrección de pendientes y ejemplos de distancias horizontales*

Pendiente %	Grados $\alpha$	Factor fp	Distancias horizontales								Pendiente %
			5	10	15	20	25	30	40	50	
15	9	1,0112	5,1	10,1	15,2	20,2	25,3	30,3	40,4	50,6	15
20	11	1,0198	5,1	10,2	15,3	20,4	25,5	30,6	40,8	51,0	20
25	14	1,0308	5,2	10,3	15,5	20,6	25,8	30,9	41,2	51,5	25
30	17	1,044	5,2	10,4	15,7	20,9	26,1	31,3	41,8	52,2	30
35	19	1,0595	5,3	10,6	15,9	21,2	26,5	31,8	42,4	53,0	35
40	22	1,077	5,4	10,8	16,2	21,5	26,9	32,3	43,1	53,9	40
45	24	1,0966	5,5	11,0	16,4	21,9	27,4	32,9	43,9	54,8	45
50	27	1,118	5,6	11,2	16,8	22,4	28,0	33,5	44,7	55,9	50
60	31	1,1662	5,8	11,7	17,5	23,3	29,2	35,0	46,6	58,3	60
70	35	1,2207	6,1	12,2	18,3	24,4	30,5	36,6	48,8	61,0	70
80	39	1,2806	6,4	12,8	19,2	25,6	32,0	38,4	51,2	64,0	80
90	42	1,3454	6,7	13,5	20,2	26,9	33,6	40,4	53,8	67,3	90
100	45	1,4142	7,1	14,1	21,2	28,3	35,4	42,4	56,6	70,7	100
110	48	1,486	7,4	14,9	22,3	29,7	37,2	44,6	59,4	74,3	110
120	50	1,562	7,8	15,6	23,4	31,2	39,1	46,9	62,5	78,1	120
130	52	1,6401	8,2	16,4	24,6	32,8	41,0	49,2	65,6	82,0	130
140	54	1,7205	8,6	17,2	25,8	34,4	43,0	51,6	68,8	86,0	140
150	56	1,8028	9,0	18,0	27,0	36,1	45,1	54,1	72,1	90,1	150

**Fuente:** (FAO 2004, como se citó en Ministerio del Ambiente, 2012, p.69)

## **B. PÁRAMO**

El páramo “es un ecosistema natural sobre el límite de bosque cerrado en los Andes del Norte, dominado por pajonales, rosetales, arbustales, humedales y pequeños bosquetes” (Mena y Hofstede, 2006, p.91).

Es un ecosistema de clima frío y es muy frágil a los cambios en el uso de la tierra, por lo que su potencial para el uso productivo es, en términos generales, muy limitado. Sin embargo, mucha gente de una gran riqueza cultural pero pobreza económica está aprovechando los recursos de este paisaje. Al mismo tiempo, una gran población aguas abajo lo está aprovechando indirectamente, aunque de manera sustancial, especialmente a través de su servicio ambiental hídrico. (Mena y Hofstede, 2006, p.91)

Los páramos sudamericanos propiamente dichos se encuentran desde la Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia y la Cordillera de Mérida en Venezuela, hasta la depresión de Huancabamba en el Perú (aproximadamente entre los 11° de latitud Norte y los 8° de latitud Sur), y constituyen un componente importante de la biodiversidad de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. (Hofstede, Segarra, y Mena, 2003, p.92)

Las altitudes entre las que se encuentra este ecosistema típicamente tropical varían bastante, pero, en términos generales, se encuentra sobre la línea de bosques continuos (los bosques andinos) y llega hasta donde pueden existir plantas por debajo las nieves eternas. (Medina y Mena, 2001, p.51)

En el Ecuador se usa comúnmente la altitud de 3.500 m como límite inferior, pero las condiciones geológicas, climáticas y antrópicas hacen que este límite varíe mucho y que se encuentren a veces páramos desde los 2.800 m, especialmente en el sur del país, o bosques cerrados hasta por sobre los 4.000 m. En el Ecuador, el páramo cubre alrededor de 1.250.000 ha, es decir aproximadamente un 6% del territorio nacional. (Medina y Mena, 2001, p.51)



Los páramos forman parte de una notable biodiversidad a escala de ecosistemas que se presenta en el Ecuador gracias a tres factores principales: la situación ecuatorial, la presencia de la cordillera de los Andes y otras sierras menores, la existencia de una fuente perhúmeda amazónica y de varias corrientes marinas frías y cálidas frente a las costas. (Hedberg y Hedberg, 1979, como se citó en Mena y Hofstede, 2006, p.92)

Dada la gran altitud y por esto las bajas temperaturas y la alta incidencia de neblina e irradiación solar, el clima es muy extremo para los seres vivos presentes. El clima durante el año es estable, pero hay una diferencia muy marcada entre el día y la noche, lo que se puede resumir en “verano todos los días, invierno todas las noches”. (Hedberg y Hedberg, 1979, como se citó en Mena y Hofstede, 2006, p.92)

### ***1. PÁRAMO DE PAJONAL***

El páramo de pajonal es el más extenso y responde de manera común a la idea que tenemos del páramo. Son extensiones cubiertas por pajonal de varios géneros (especialmente *Calamagrostis*, *Festuca* y *Stipa*) matizadas por manchas boscosas en sitios protegidos (con *Polylepis*, *Buddleja*, *Oreopanax* y *Miconia*), arbustos de géneros como *Valeriana*, *Chuquiraga*, *Arcytophyllum*, *Pernettya* y *Brachyrorum*, herbáceas y pequeñas zonas húmedas (pantanos) en sitios con drenaje insuficiente. (Mena, 2002)

A decir verdad, “los páramos de pajonal se encuentran en todas las provincias del país donde hay este ecosistema y cubren alrededor del 70 % de la extensión del ecosistema en el Ecuador” (Mena, 2002).

“Nadie ha sembrado los pajonales y por lo tanto el ecosistema es natural, pero también es cierto que las acciones humanas sobre la vegetación original la han transformado, por lo menos en parte, en los pajonales actuales” (Mena, 2002).

La vegetación anterior era de bosques bajos transformados en las praderas actuales por la quema y el pastoreo, dejando remanentes en las partes más protegidas e inaccesibles. (Lægaard, 1992, como se citó en Mena, 2002)

### **C. PLANTACIONES DE PINO**

En el Ecuador, el impacto producido por los diferentes usos del territorio y del suelo, desde tiempos precolombinos, incluye modificaciones en la distribución de taxa leñosa y aumento de taxa herbácea, probablemente a través de tala, quema e introducción de ganado. (Stern, 1995, p. 339-348)

Además, “las plantaciones exóticas forestales alteran la dinámica y la estructura trófica de las comunidades del suelo, efectos que persisten a largo plazo” (Kattan, Correa, Escobar, & Medina, 2006).

En el Ecuador, “existen plantaciones de pino –*Pinus patula* y *P. radiata*- hasta los 4000 msnm o más. Estas plantaciones de hicieron con el objetivo de producir madera para aserrío” (van Voss, Aguirre y Hofstede, 2001, p.9).

Lamentablemente, “por razones de mala selección de especies, de sitio y por falta de manejo, el crecimiento y desarrollo de las planatas es deficitario y el objetivo no será alcanzado” (van Voss, Aguirre y Hofstede, 2001, p.9).

Es preciso conocer que en la Sierra sur, *Pinus patula* y *Eucalyptus globulus* son las especies más utilizadas en plantaciones debido al ciclo corto de producción de madera que ellas proveen; las plantaciones se encuentran desperdigadas en la región y varían entre 1 y 500 ha, sobre los 3000 m, en pendientes fuertes, áreas abandonadas o erosionadas, y, en valles planos, alrededor de 2500 m, secos y cultivados. (Morris, 1997, p. 31-42)

El paisaje de la sierra sur del Ecuador “presenta cinco tipos principales de utilización de territorio: remanentes de vegetación nativa, parches de vegetación

secundaria, pastizales, plantaciones con *Pinus patula* y *Eucalyptus globulus*” (Chacón , Gagnon , Paré, y Proulx, 2003, p.20).

Por tanto, “si se pretende establecer acciones de reforestación en estas áreas, se requiere una mejor comprensión de los impactos a largo plazo de la deforestación masiva y plantaciones exóticas en la productividad del suelo” (Chacón et al., 2003, p.20).

Por ello, una comparación de las propiedades del suelo entre áreas con menos disturbios (bosques maduro y secundario) y áreas disturbadas (plantaciones y pastizales), puede proveer evidencias importantes sobre la cantidad de nutrientes disponibles y su respuesta frente a los efectos de los diferentes disturbios. (Chacón et al., 2003, p.20)

## ***1. PINO***

A continuación se expone cierta información acerca de esta especie arbórea. Información obtenida en Ecuador Forestal (2015).

**ESPECIE:** *Pinus radiata*

**FAMILIA:** PINACEAE

**NOMBRES COMUNES:** pino insigne, pino de Monterrey

### **a. Importancia Económica**

Es una especie exótica muy difundida en la serranía, debido a su alta adaptabilidad, rápido crecimiento y a la rentabilidad de su producción. Actualmente es muy utilizada en tableros aglomerados y de fibra.

Se lo puede establecer en cortinas rompevientos, cercas vivas, sistemas silvopastoriles o en plantaciones puras.

## **b. Generalidades**

El pino fue introducido por Luciano Andrade Marín en el Ecuador en 1.925. Después del eucalipto es la especie más plantada en la sierra. Las especies de pino son altamente difundidas por su rápido crecimiento y fácil adaptación a climas y a suelos relativamente adversos.

## **c. Dendrología**

### **Fisonomía del árbol**

**Árbol:** Alcanza en el país hasta 30 m de altura y 70 cm de DAP

**Tronco:** Es cónico y recto.

**Corteza:** La corteza externa es café agrietada y la corteza interna es crema-rosácea. Segrega una resina transparente.

**Copa:** Es alargada y cónica.

### **Caracteres botánicos**

**Hojas:** Tienen forma de agujas en fascículos de tres. “La hojarasca de pino tiene una baja capacidad de absorción” (Ibrahima, R. Joffre, & D. Gillon, 1995).

**Flores:** Las masculinas tienen estambres peltados y las femeninas se encuentran en conos o estróbilos.

**Fruto:** Es un cono o estróbilo leñoso grande, que contiene semillas aladas. Este fruto es muy parecido a la piña.

**Ecología y distribución:** El pino es originario de Monterrey, California. En Ecuador se encuentra difundido en la Sierra.

“La primera plantación de pino a gran escala se realizó en el páramo del volcán Cotopaxi y su uso se extendió a partir del año de 1960” (Tierra Incognita, 2000).

#### d. Silvicultura

**Requerimientos Edafoclimáticos:** Necesita suelos franco-arenosos, con pH neutro a ligeramente ácido, con profundidades de al menos 25 cm para establecerse, y superiores a 1 m para alcanzar su altura normal. Es una especie exigente en Fósforo, Boro y Zinc. En cuanto a luminosidad, es una planta heliófila.

**Tabla 10**  
*Condiciones Climáticas Óptimas para el Pinus radiata*

Condiciones climáticas	
Temperatura °C	11 - 17
Precipitación mm	800 - 1.300
Rango altitudinal msnm	1.800 - 3.500

**Fuente:** (Ecuador Forestal, 2015)

#### Requerimientos nutricionales

“Demandas de nutrientes en el primer y segundo año de crecimiento de acuerdo a las categorías de biomasa establecidas y a los requerimientos internos estimados” (Alvarez, Rodriguez, y Suarez, 1999, p.30).

**Tabla 11**  
*Requerimiento interno de nutrientes de los árboles de Pinus radiata.*

Nutriente	Período de crecimiento	
	1 año	2 año
Nitrógeno	1,5 %	1,05 %
Fósforo	0,15 %	0,1 %
Potasio	0,8 %	0,55 %
Calcio	0,22 %	0,15 %
Magnesio	0,1 %	0,1 %

**Fuente:** (Alvarez, et al., 1999)

**Regeneración Natural:** En países nórdicos, durante la cosecha final se dejan varios árboles por hectárea dispersos para que se produzca la regeneración natural, la cual debe ser manejada.

### **Replacación:**

**Prácticas de Vivero:** La semilla no requiere tratamiento pre-germinativo, sin embargo para favorecer la velocidad de germinación, se sugiere remojar las semillas en agua a temperatura ambiente por 24 horas.

**Preparación del Terreno y Plantación:** Se debe remover la tierra y realizar limpieza de malezas. El distanciamiento es variado de acuerdo a la calidad del sitio y al objetivo de la plantación (para aglomerado o aserrío), ya que puede ser de 2 x 2 m, de 2,5 x 2,5 m o de 3 x 3 m.

**Crecimiento y Manejo de la Plantación:** El crecimiento puede fluctuar entre 5 y 20 m<sup>3</sup>/ha/año. El manejo consiste en realizar limpieas de coronación (alrededor de la planta), podas (para eliminar ramas bajas, evitar nudos y enfermedades, y disminuir el riesgo de incendios) y raleos.

### **Factores limitantes para el crecimiento:**

- Presencia de neblina.
- Suelos anegados.
- Enfermedades generalmente causadas por hongos:
  - 1) En vivero pueden presentarse aquellos que producen el damping - off (géneros Rhizoctonia, Phytium, Phytophthora o Fusarium).
  - 2) En las plantaciones establecidas en el Ecuador, los hongos más frecuentes son Dothistroma pini, que produce la enfermedad de la banda roja de acículas y Diplodia pinea, que causa la enfermedad llamada “chancro del pino” o “muerte apical”.
  - 3) El insecto defoliador llamado Leuculopsis parvistrigata, que se lo encuentra en las plantaciones de la sierra ecuatoriana.

## **e. Propiedades tecnológicas de la madera**

### **Propiedades Organolépticas de la Madera:**

**Color:** La albura es blanca, con transición gradual a duramen amarillo pálido, aumentando su intensidad a marrón muy pálido.

**Textura:** Fina

**Durabilidad natural:** No es resistente al ataque de hongos e insectos. Posee una duración en uso exterior de un año.

**Trabajabilidad:** Es fácil, sin embargo suele presentar defectos muy leves en el cepillado y moldurado.

**Secado:** Es fácil, sin embargo presenta deformaciones leves.

**Preservación:** Fácil.

## **f. Usos**

Es utilizado para muebles, pulpa y papel, envases, tableros aglomerados, tableros contrachapados y de fibras, ebanistería, entre otros.

## **B. MESOFAUNA EDÁFICA**

La fauna edáfica (FE), es uno de los componentes primordiales del suelo. Lleva a cabo diferentes procesos: el reciclaje de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y la conservación de la estructura del terreno. Esto garantiza la calidad y fertilidad del suelo en sistemas naturales, agrícolas y forestales. (Cabrera, Socarrás, y Hernández, 2015, p.2)

La fauna del suelo o edáfica está constituida por organismos que pasan toda o una parte de su vida sobre la superficie inmediata del suelo, en los troncos podridos y la hojarasca superficial y bajo la superficie de la tierra. Para vivir en el suelo, estos organismos han tenido que adaptarse a un ambiente compacto, con baja concentración en oxígeno y luminosidad, pocos espacios abiertos, baja disponibilidad y calidad de alimentos y fluctuaciones microclimáticas que pueden llegar a ser muy fuertes. (Lavelle et al., 1992, como se citó en Brown, et al., 2001)

Además, “este grupo está integrado por los animales que tienen un ancho de cuerpo mayor a 2 mm y que pertenecen a distintos Filos, Clases y Órdenes” (Linden et al., 1994, como se citó en Zerbino, 2005, p.3).

La FE está compuesta por animales invertebrados, que pasan toda o una parte de su vida dentro del suelo, en su superficie, en la hojarasca y en los troncos caídos en descomposición. Según el diámetro del animal adulto la FE se clasifica en:

**MICROFAUNA**, que incluye organismos acuáticos menores de 0,1 mm: nemátodos, protozoos y rotíferos, los cuales viven en el agua contenida entre las partículas del suelo.

**MESOFAUNA**, que agrupa individuos microscópicos entre 0,2 y 2 mm: ácaros del suelo, colémbolos, proturos, dipluros, psocópteros, tisanópteros o trips, paurópodos, sínfilos y enquitreidos.

**MACROFAUNA**, compuesta por invertebrados mayores de 2 mm, posibles de detectar a simple vista: lombrices de tierra, caracoles, cochinillas, milpiés, ciempiés, arañas y diversos insectos. (Cabrera et al., 2015, p.2)

Estos organismos “operan en escalas de tiempo y espacio más amplias que los individuos más pequeños. La mayoría se caracteriza por tener un ciclo biológico largo (un año o más), baja tasa reproductiva, movimientos lentos y poca capacidad de dispersión” (Gassen y Gassen, 1996, como se citó en Zerbino, 2005, p.3).



## 1. LA REGULACIÓN JERÁRQUICA DE LOS PROCESOS DEL SUELO

“El modelo jerárquico de la Figura 16 explica el funcionamiento de los procesos del suelo mediante una serie de factores que están determinados, dentro de la jerarquía, por escalas de espacio y de tiempo” (Lavelle et al., 1993, como se citó en Jiménez, Decaëns, Thomas, y Lavelle, 2003, p.3).

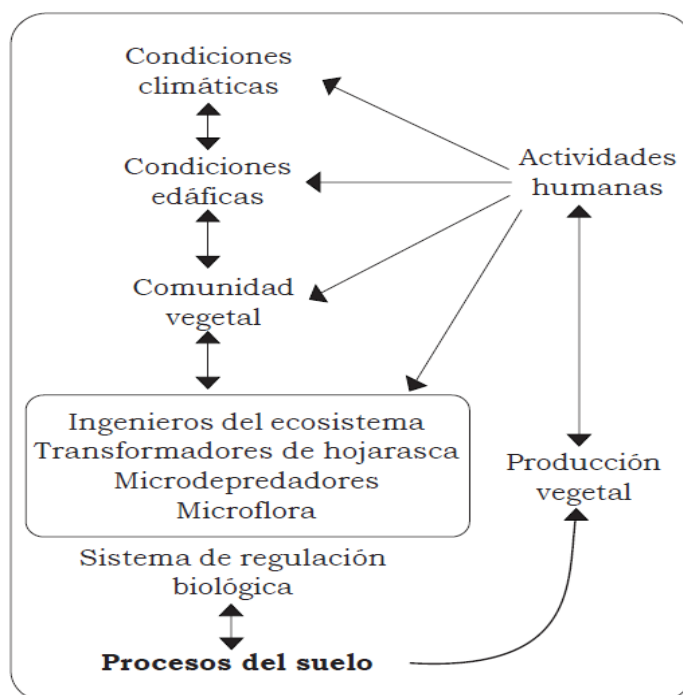


Figura 15. Modelo jerárquico de los principales factores determinantes de los procesos del suelo (adaptado de Lavelle et al., 1993). (Jiménez et al., 2003)

Sin embargo, “el modelo no tiene rigidez jerárquica, ya que los factores que influyen en una gran variedad de procesos pueden actuar a diferentes escalas, y en éstas puede variar la importancia relativa de los factores determinantes” (Lavelle 1996, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.3).

## 2. CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LA FAUNA DEL SUELO

A continuación, se detallan principales grupos funcionales, estudiados Y clasificados de acuerdo con dominios y reinos, tamaños y procesos de ecosistemas. (Swift, Bignell, Moreira, & Huisling, s/f)

1. Macrofauna: lombrices de tierra, que intervienen en la porosidad del suelo y en sus nutrientes, al cavar sus túneles y mediante la ingestión de materia mineral y orgánica; también actúan como reguladores de las poblaciones de biota del suelo, a escala pequeña, por ejemplo, de la mesofauna, microfauna y microsimbiontes.
2. Macrofauna: termitas, hormigas y escarabajos que intervienen en: a) la porosidad y la textura del suelo, al construir galerías y al cavar túneles e ingerir suelo; b) el ciclo de nutrientes, mediante el transporte, la trituración y digestión de materia orgánica; c) el control biológico como depredadores.
3. Otra macrofauna: cochinillas (Isópoda), milpiés (Diplópoda) y otros tipos de larvas de insectos que actúan como transformadores de hojarasca con una importante acción trituradora sobre el tejido de plantas muertas y sus depredadores (ciempiés, arácnidos grandes y otros tipos de insectos). Algunas especies también resultan perjudiciales porque se convierten en plaga.
4. Mesofauna: colémbolos y ácaros que actúan como transformadores de hojarasca y micropredadores (forrajeros de hongos, bacterias y depredadores de otros animales del suelo), de esta manera contribuyen en procesos orgánicos de trituración a pequeña escala y ejercen un importante papel regulatorio dentro de la biota del suelo. Algunas especies de ácaros y formas de larvas de muchos artrópodos de suelo son lo suficientemente pequeñas como para clasificarse dentro de la microfauna.
5. Microfauna: nematodos y protoctistas que, a) influyen en la tasa de recambio por su papel como forrajeros de raíces (parásitos de plantas), micófagos, bacteriófagos, omnívoros y depredadores, b) ocupan espacios que existen en pequeños poros, en los que viven dependientes de películas de agua, c) normalmente representan una riqueza genérica y de especies muy alta d) juegan un papel importante en la regulación de abundancia y actividad microbiana, e) El inventario de la biodiversidad biológica del suelo como insectos patógenos, representan un importante control biológico.

6. Hongos micorrizógenos arbusculares: se asocian con las raíces de las plantas y mejoran la disponibilidad de nutrientes; de esta manera, reducen ataques patógenos en plantas y mejoran la tolerancia al estrés del medio ambiente.
7. Bacterias formadoras de nódulos en leguminosas y, en ocasiones, otros fijadores de nitrógeno microsimbiontes que transforman el nitrógeno atmosférico  $N_2$ , en  $NH_3$ , que es asimilable para las plantas.
8. Hongos fitopatógenos, saprotróficos y antagonistas: que determinan o median (en diferentes casos) la viabilidad de cultivos, rotación de carbono orgánico en descomposición, y enfermedades de las plantas, y contribuyen al potencial control biológico de plagas y enfermedades.

Sin embargo, “las funciones que cumplen los invertebrados del suelo dependen, en gran medida, de la eficacia de su sistema digestivo, el cual depende a su vez, del tipo de interacción que mantiene con la microflora del suelo” (Lavelle 1996, 1997, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.3).

Partiendo de estos dos criterios, se pueden distinguir tres grandes grupos funcionales de invertebrados (Figura 16).

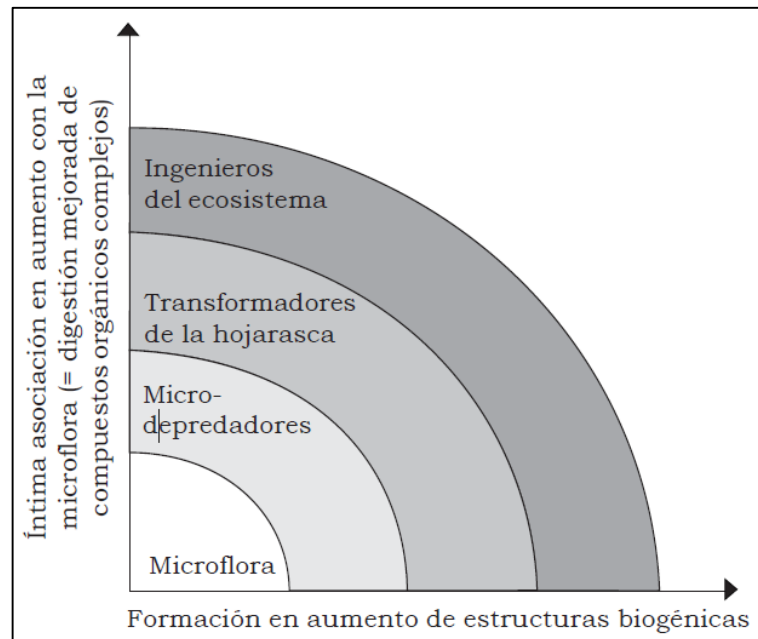


Figura 16. Relaciones de interacción entre los microorganismos y los macroorganismos del suelo. (Jiménez et al., 2003)

Por tanto, “a medida que aumenta el tamaño del organismo, sus relaciones con la microflora van desde la depredación hasta el mutualismo externo e interno; además, las estructuras biogénicas son cada vez más sólidas” (Lavelle, 1997, citado en Jiménez et al., 2003, p.3).

#### **a. Microdepredadores**

“Este grupo incluye a los invertebrados más pequeños, los protozoos y los nematodos. Estos organismos no producen ninguna estructura órgano-mineral” (Lavelle 1996, 1997, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.4).

“y su efecto principal es estimular la mineralización de la materia orgánica (MO)” (Coûteaux et al., 1991; Ingham et al., 1985, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.4).

#### **b. Transformadores de la hojarasca**

“En este grupo se encuentran los representantes de la mesofauna y de parte de la macrofauna” (Lavelle, 1996, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.4).

“Cuando estos invertebrados reingieren sus deyecciones, que sirven de incubadoras de la microflora, asimilan los metabolitos liberados por la acción microbiana” (Jiménez et al., 2003, p.4).

#### **c. Ingenieros del ecosistema**

Los “ingenieros del ecosistema” o “ingenieros ecológicos” (sensu Jones et al., 1994, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.4).

Son aquellos organismos que producen estructuras físicas con las cuales modifican la disponibilidad o accesibilidad de un recurso para otros organismos. Su actividad y la producción de estructuras biogénicas pueden modificar la abundancia o la

estructura de otras comunidades de organismos. (Jones et al., 1994, 1997, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.4)

Ahora bien, de las innumerables formas de vida que habitan los suelos, sólo un pequeño número de macroinvertebrados (lombrices, termitas y hormigas) se distinguen por su capacidad de horadar el suelo y producir una gran variedad de estructuras órgano-minerales: deyecciones, nidos, montículos, macroporos, galerías y cámaras. (Anderson, 1996; Lavelle, 1996, 1997, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.4)

“Estos organismos han sido descritos como ingenieros ecológicos del suelo, y las estructuras que producen han sido llamadas estructuras biogénicas” (Anderson, 1996; Lavelle, 1996, 1997, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.4).

Por consiguiente, se cree que la acción funcional de estas estructuras en el ecosistema es importante y que representan sitios en que ocurren algunos procesos pedológicos fundamentales, como la estimulación de la actividad microbiana, la formación de la estructura del suelo, la dinámica de la MO, y el intercambio de agua y gas en el suelo (Anderson, 1996; Bean y Lavelle, 1998; Lavelle, 1996, como se citó en Jiménez et al., 2003)

La visión clásica del estudio de la biología de cada especie de una comunidad ha dado paso al estudio de las estructuras biogénicas producidas por los ingenieros del ecosistema. En efecto, este último concepto y los dominios funcionales asociados con las actividades de los ingenieros han sido herramientas útiles para entender el papel funcional de la biodiversidad y sus efectos en el suelo. (Jones et al., 1994; Lavelle, 2000; Lavelle et al., 1997, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.4)

Es así que, “este concepto ha facilitado también la comprensión de los efectos indirectos ligados a las estructuras biogénicas que pueden existir entre el nivel de los macroinvertebrados del suelo y el de otros organismos de inferior tamaño” (Jiménez et al., 2003, p.4).

Por otra parte, los dominios funcionales son lugares específicos del suelo influidos por un regulador principal que puede ser biótico (p.ej., un ingeniero del ecosistema o una raíz) o abiótico (p.ej., alternancia de períodos secos y húmedos, o de frío y calor). (Lavelle, 2000, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.4)

En estos sitios, caracterizados por el recurso orgánico que contienen hojarasca u otro tipo de MO), el regulador biótico crea una serie de estructuras, como deyecciones, galerías y fisuras, que son ocupadas por invertebrados más pequeños y por microorganismos. Una comunidad biológica depende, en última instancia, de estos organismos tan pequeños. (Lavelle, 2000, como se citó en Jiménez et al., 2003, p.4)

### **3. OTRAS SUBDIVISIONES DE LA MESOFAUNA**

La macrofauna puede además subdividirse “en organismos epigeos, endogeos y anécicos, presentando cada categoría un papel diferente en el funcionamiento del ecosistema edáfico, aunque miembros de una misma categoría (e.g. los endogeos) pueden también tener efectos distintos sobre el suelo (e.g. compactantes y descompactantes)” (Lavelle, 1997, como se citó en Brown et al., 2001, p.4).

#### **a. Epigeos**

Los epigeos viven y comen en la superficie del suelo; la mayor parte se alimentan de la hojarasca (macroartrópodos detritívoros, pequeñas lombrices de tierra pigmentadas), otros comen plantas vivas (larvas de mariposas, caracoles) y otros (arañas, hormigas, ciempiés y algunos escarabajos) son predadores del resto de la fauna. La función primordial de los epigeos es fragmentar la hojarasca y promover su descomposición. (Brown et al., 2001, p.4)

#### **b. Endogeos**

Los endogeos, representados principalmente por las lombrices de tierra geófagas y los termes, viven en el suelo y se alimentan de materia orgánica o de

raíces (vivas o muertas). Debido a la baja cantidad y calidad de los recursos nutritivos del suelo, suelen seleccionar partículas más ricas en C y tienen que ingerir grandes cantidades de suelo para alimentarse, produciendo consecuentemente amplias galerías y abundantes excretas de diferentes tamaños y composiciones físico-químicas y biológicas. Las galerías pueden llegar a ser muy profundas y representar una parte importante de la macroporosidad del suelo. Las excretas pueden estar depositadas dentro del suelo o en la superficie y a veces son concentradas en forma de nidos (termes). (Brown et al., 2001, p.5)

### **c. Anécicos**

Los anécicos, representados por las lombrices de tierra, los termes y las hormigas, se alimentan principalmente de la hojarasca de la superficie (también pueden ingerir estiércol de ganado o excretas de otros invertebrados), pero viven en el suelo formando redes semi-permanentes de galerías y a veces nidos como vivienda y lugar para acumular recursos. Para construirlas, ingieren o transportan grandes cantidades de suelo que alteran la agregación del suelo y producen galerías abiertas hacia la superficie del suelo que promueven la oxigenación e infiltración del agua. Sin embargo, el papel principal de los anécicos está en la reubicación de la hojarasca, cambiando la dinámica de su descomposición y su distribución espacial. (Brown et al., 2001, p.5)

## ***3. FAUNA ASOCIADA AL SUELO MÁS REPRESENTATIVA***

### **a. Clase Acari**

Las garrapatas son ácaros pertenecientes al Phylum Artrópoda, Subphylum Chelicerata, Clase Aracnoidea, Orden Acari, Suborden Ixodoidea. Dentro del Orden Acari los individuos se caracterizan por tener el cefalotórax y el abdomen fusionados. Son ectoparásitos obligados, no permanentes de vertebrados de sangre caliente y fría. Todas las especies son hematófagas exclusivas en todos los estadios

de desarrollo. (Núñez et al., 1987, Klompen et al., 1996, como se citó en Álvarez, Hernández Fonseca y Hernández Gamboa, 2005, p.1)

Su importancia radica en que causan una serie de daños a sus hospederos como la succión de sangre y el consiguiente debilitamiento, daños en las pieles, problemas alérgicos, inoculación de toxinas causantes de parálisis temporales, problemas ambientales por los productos químicos que se utilizan en el control. Además son de gran importancia en la transmisión de diversas enfermedades a los animales y al ser humano. (Peacock et al., 1971, Zeledón y Jirón, 1978, Fuentes, 1979, Vargas et al., 1994, Vargas, 1998, como se citó en Álvarez et al., 2005, p.1)

### **b. Orden Araneae**

Terrestres, de vida libre, depredadoras, de hábitos diurnos y nocturnos. Muchas tejen telas especializadas para capturar diversos tipos de insectos voladores, otras son errantes, o pueden ser sedentarias y ocupar la misma galería o refugio de por vida. (Francke, 2015)

La riqueza mundial es de 42 751 especies distribuidas en 3 859 géneros y 110 familias. Existen 2 subórdenes: Mygalomorphae (tarántulas) y Araneomorphae (arañas), separables principalmente por la orientación de las uñas de los quelíceros (paraxiales o diaxiales). (Francke, 2015)

### **c. Orden Díptera**

Los dípteros, que en sentido muy amplio incluyen a las “moscas” y “mosquitos”, se caracterizan, dentro de los insectos, por tener sólo un par de alas, de ahí el origen de su nombre (di = dos, ptera = ala). Sin embargo, esta característica no es exclusiva de ellos, pues existen otras especies de insectos, muy pocas, que también presentan dos alas (por ejemplo, algunas efímeras y unos pocos homópteros). Además, por otro lado, también existen dípteros ápteros, es decir, sin alas. En consecuencia, esta característica falla en unas cuantas especies. Entonces, lo que caracteriza a los dípteros está en la transformación de las alas posteriores



(metatorácicas) en unos órganos llamados halterios o balancines, que no se utilizan para volar, sino para mantener la estabilidad mientras vuelan. (Tolrá y Andersen, 2015, p.1)

La mayoría se alimentan de productos de desecho, son detritívoros. Algunas se alimentan de larvas de mosquitos. Las que se alimentan de raíces pueden causar problemas serios en el césped. Los adultos se alimentan de néctar o simplemente no se alimentan. (Burgues, 1971, como se citó en Carrasco y Guzmán, 2011, p.14)

#### **d. Orden Coleóptero**

El orden coleóptero incluye los insectos vulgarmente conocidos como escarabajos, este orden dentro de la clase Insecta es del que más número de especies conocidas se tiene registro. Posee representantes de formas y tamaños variables, pudiéndose encontrar organismos muy pequeños o grandes y robustos. (Arango Gutiérrez & Vásquez Villegas, s/f, p.93)

Su característica principal son los élitros que son alas modificadas que protegen las alas membranosas, generalmente su aparato bucal es masticador, su alimentación es polífaga, fototrópica o quimiotrópica. Son de hábitos muy variados, los hay acuáticos y terrestres. (Arango y Vásquez, s/f, p.93)

Una gran serie de coleópteros se alimentan de material vegetal fresco o descompuesto sobre o en el suelo. Sus hábitos alimenticios pueden ser ilustrados por los de la súper familia de los Escarabeidos. La digestión de larvas de Escarabeido es lenta y parece probable que los microorganismos que descomponen la celulosa ingeridos con la comida pueden desarrollarse en el intestino liberando productos digestivos utilizados por las larvas. (Burgues, 1971, como se citó en Carrasco y Guzmán, 2011, p.13)

### **e. Orden Collembola**

Del orden Collembola “se conocen más de 6.000 especies, lo cual significa la mayor distribución en el medio edáfico e importancia para la comunidad de organismos, ya que son alimento de otros artrópodos carnívoros” (Chamorro, 2001, p.488).

Los collembola habitan especialmente las capas orgánicas del suelo, debido a que allí se encuentra la mayor actividad de descomposición y una mejor disponibilidad de alimentos y espacio poroso para su alojamiento, condiciones que disminuyen a mayor profundidad del suelo. La actividad de los collembola en el suelo contribuye a liberar  $\text{NH}_4$  y aumentar los niveles de calcio en el suelo. (Chamorro, 2001, p.488)

Es menester conocer que, cualquier muestra de suelo, sobre todo dónde hay abundante hojarasca, contiene cientos de colémbolos. Es bastante sencillo separarlos por flotación ya que la presencia de sustancias hidrófobas en su cutícula hace que floten y se amontonen en manchoncitos en la superficie del agua. Las especies con furca bien desarrollada son fáciles de distinguir por sus movimientos de salto. (Momo y Falco, 2016, p.1)

De allí pues, que los colémbolos se encuentran en los suelos de todas las latitudes y parecen estar limitados solamente por la extrema sequía. Influyen con sus pelotitas fecales a la microestructura del suelo y están cerca de la base de las redes tróficas edáficas que se “montan” sobre el material detrítico; a su vez son presa de los ácaros carnívoros (Figura 17). (Momo y Falco, 2016, p.2)

Los colémbolos también desempeñan un papel importante en la diseminación de los hongos y en la descomposición de sus heces por artrópodos mayores. Se alimentan de material vegetal putrefacto, micelios de hongos, esporas, pupas de dípteros, otros colémbolos, partes de lombrices de tierra en estado de putrefacción. (Burgues, 1971, como se citó en Carrasco y Guzmán, 2011, p.10)

#### **f. Orden Haplotaxida**

Los *Haplotaxida* son un grupo de anélidos que engloba a las lombrices y sus parientes. Sus especies poseen una morfología bastante homogénea, con las quetas laterales más o menos desarrolladas. El grupo se distribuye por todo el mundo, viviendo en lugares húmedos o bajo el agua. Se pueden encontrar principalmente bajo tierra, entre hojarasca y humus vegetal, en cortezas y demás galerías húmedas, en el agua de riachuelos y lagos o en los sedimentos de estos y en el agua y sedimentos marinos. Su alimentación consta generalmente de detritus orgánicos, aunque algunos pueden comer algas o plancton. (Taxateca, 2016)

#### **g. Orden Lepidóptero**

“Solamente los estados larvales y pupales de las mariposas tienen relación directa aunque pasiva con el ambiente edáfico, a través de sus hábitos alimenticios de tipo fitófago” (Chamorro, 2001, p.489).

### **4. NIVELES TRÓFICOS**

Las redes tróficas del suelo se basan en el material detrítico. Este material cae en el suelo a partir de la muerte de organismos o sus partes (hojas por ejemplo) y forman un reservorio de materia orgánica con diferentes niveles de descomposición por acción de hongos y bacterias. La dinámica de estos sistemas suele ser muy estable. (Momo y Falco, 2016, p.7)

Las redes tróficas del suelo tienen una conectividad y una riqueza altas comparadas con redes tróficas terrestres sustentadas en la producción primaria directa (es decir, basadas en la herbivoría). La Figura 17 resume algunas de las relaciones tróficas entre los grupos de invertebrados del suelo. (Momo y Falco, 2016, p.7)

Como la materia orgánica presente en el suelo se asocia generalmente a la calidad del mismo y existe una fuerte interacción entre la estructura del suelo y la acción de los invertebrados, la composición y abundancia de la comunidad de

invertebrados es un indicador bastante fiel del nivel de calidad o de deterioro del suelo en su totalidad. (Momo y Falco, 2016, p.7)

Por tanto, “los organismos de la mesofauna se han utilizado como indicadores de contaminación (Koehler 1992, Pizl 1988, Rapoport 1972) y de otros tipos de deterioro o recuperación del suelo en diferentes estudios (Koskenniemi, Huhta 1986, Pizl 1992)” (Momo y Falco, 2016, p.7).

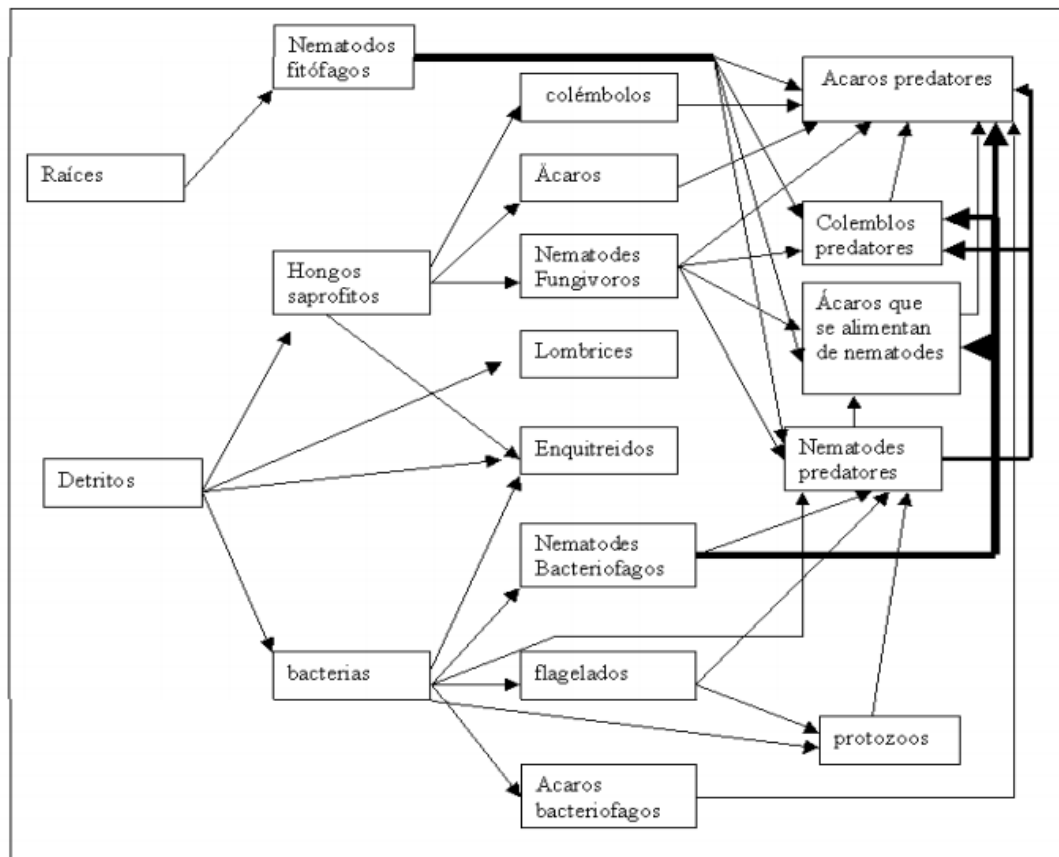


Figura 17. Red Trófica del suelo. (Momo y Falco, 2016)

#### D. BIODIVERSIDAD

Uno de los problemas ambientales que han suscitado mayor interés mundial en esta década es la pérdida de biodiversidad como consecuencia de las actividades humanas, ya sea de manera directa (sobreexplotación) o indirecta (alteración del hábitat). Los medios de comunicación han impactado de tal manera que tanto el

gobierno, la iniciativa privada, como la sociedad en general consideran prioritario dirigir mayores esfuerzos hacia programas de conservación. La base para un análisis objetivo de la biodiversidad y su cambio reside en su correcta evaluación y monitoreo. (Moreno, 2001, p.13)

La biodiversidad o diversidad biológica se define como la variabilidad entre los organismos vivos de todas las fuentes, incluyendo, entre otros, los organismos terrestres, marinos y de otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye diversidad dentro de las especies, entre especies y de ecosistemas. (UNEP, 1992)

El término comprende, por tanto, diferentes escalas biológicas: desde la variabilidad en el contenido genético de los individuos y las poblaciones, el conjunto de especies que integran grupos funcionales y comunidades completas, hasta el conjunto de comunidades de un paisaje o región. (Solbrig, 1991, Halffter y Ezcurra, 1992, Heywood, 1994, UNEP, 1992; Harper y Hawksworth, 1994, como se citó en Moreno, 2001, p.13)

### ***1. ¿CUÁL ES EL MEJOR MÉTODO PARA MEDIR LA DIVERSIDAD DE ESPECIES?***

La respuesta a esta pregunta es sencilla: no existe un mejor método, la diversidad de especies tiene distintas facetas y para cada faceta hay que buscar la aproximación más apropiada. La selección del método a emplearse debe considerar: (Moreno, 2001, p.60)

- a. El nivel de la biodiversidad que se quiere analizar: dentro de comunidades (diversidad alfa), entre comunidades (diversidad beta), o para un conjunto de comunidades (diversidad gamma).
- b. El grupo biológico con que se esté trabajando, la disponibilidad de datos y los trabajos previos con el mismo grupo. Para algunos taxa o bajo ciertas condiciones ambientales no es posible contar con datos cuantitativos o sistematizados. Además,

resulta aconsejable utilizar los métodos que han sido aplicados con anterioridad en investigaciones con el mismo grupo taxonómico, o proporcionar los datos necesarios para aplicarlos, a fin de permitir comparaciones.

c. Las restricciones matemáticas de algunos índices y los supuestos biológicos en los que se basan. En ciertos casos particulares, por ejemplo si los datos reales no tienen una distribución dada, no será válido aplicar métodos paramétricos. (Moreno, 2001, p.60)

“Para la diversidad alfa es preciso definir aún más el aspecto biológico que se quiera describir: el número de especies (riqueza) o la estructura de la comunidad (dominancia, equidad, o riqueza y equidad en conjunto)” (Moreno, 2001, p.60).

Si el propósito es simplemente comparar números de especies, la riqueza específica (S) es la mejor expresión y la más sencilla, aunque dependa del tamaño de la muestra. Para eliminar este sesgo, es recomendable utilizar, de forma conjunta con la riqueza específica, funciones de acumulación de especies o métodos no paramétricos que permiten extrapolar tamaños de muestra para observar la tendencia de la riqueza específica. De esta forma, la medida de riqueza de especies puede compararse entre comunidades aunque el tamaño de las muestras no sea el mismo. (Moreno, 2001, p.60)

## ***2. ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD***

### **a. Riqueza específica (S)**

La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies (S) obtenido por un censo de la comunidad. Esto es posible únicamente

para ciertos taxa bien conocidos y de manera puntual en tiempo y en espacio.  
(Moreno, 2001, p.26)

### **1) Índice de diversidad de Margalef**

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Dónde:

$S$  = número de especies

$N$  = número total de individuos

Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos  $S = k\sqrt{N}$  donde  $k$  es constante. (Magurran, 1988)

“Si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida. Usando  $S-1$ , en lugar de  $S$ , da  $DMg = 0$  cuando hay una sola especie”  
(Moreno, 2001, p.26).

**Tabla 12**

***Interpretaciones del Índice de Margalef***

	<b>Valores</b>	<b>Interpretación</b>
Interpretaciones de la diversidad	<2	Diversidad baja
	2 - 5	Diversidad media
	>5	Diversidad alta

**Fuente:** (Montero Saiz, 2011)

### **b. Índices de dominancia**

Los índices basados en la dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad. Toman en cuenta la representatividad

de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies. (Moreno, 2001, p.41)

### **1) Índice de Simpson**

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Dónde:  $p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes. Como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como  $1 - \lambda$ . (Moreno, 2001)

**Tabla 13**

***Interpretaciones del Índice de Simpson***

	<b>Valores</b>	<b>Interpretación</b>
Interpretaciones	0,00 - 0,35	Diversidad baja
	0,35 - 0,75	Diversidad media
	0,76 - 1,00	Diversidad alta

**Fuente:** (Ordoñez, L. et al. 2009)

### **c. Índices de equidad**

“La equidad se refiere a la igualdad en las abundancias de las diferentes especies; y típicamente se evalúa tomando en cuenta el número de especies dominantes en relación con el número de especies poco o nada comunes” (Magurran, 2004, Moreno et al., 2006, como se citó en Sonco, 2013, p.36).

Así, mientras mayor cantidad de especies haya en un sitio y mientras más homogénea sea su distribución, mayor será la diversidad de éste.



### **1) Índice de Shannon-Wiener (H')**

$$H' = -\sum p_i \ln p_i \quad \text{y} \quad \sum p_i = 1$$

Dónde:  $p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , lo cual implica obtener el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Expresa “la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección” (Magurran, 1988).

Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de  $S$ , cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos. (Magurran, 1988)

**Tabla 14**

#### ***Interpretación del Índice de Shannon***

	<b>Valores</b>	<b>Interpretación</b>
Interpretaciones	<2	baja
	2 - 5	media
	>5	alta

**Fuente:** (Montero Saiz, 2011)

#### **d. Índices de similitud/disimilitud**

Expresan el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas, por lo que son una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere al cambio de especies entre dos muestras. Sin embargo, a partir de un valor de similitud ( $s$ ) se puede calcular fácilmente la disimilitud ( $d$ ) entre las muestras:  $d=1-s$ . (Magurran, 1988)

### **1) Índice de Sorensen**

$$I_s = \frac{2c}{a + b}$$

Dónde:

$I_s$  = Índice de Sorensen

a = Número de especies encontradas en la comunidad A

b = Número de especies encontradas en la comunidad B

c = número de especies comunes en ambas localidades

Este índice relaciona el número de especies en común con respecto a todas las especies encontradas en los dos sitios.

**Tabla 15**

***Interpretaciones del Índice de Sorensen***

	<b>Valores</b>	<b>Interpretación</b>
Interpretaciones	0,00 - 0,35	baja
	0,35 - 0,75	media
	0,76 - 1,00	alta

**Fuente:** (Ordoñez, L. et al. 2009)

## **CAPÍTULO II**

### **2. METODOLOGÍA**

#### **2.1. TIPO DE ESTUDIO**

De acuerdo a la finalidad por la cual está encaminado el proyecto, corresponde a una investigación aplicada. Se hace referencia a la aplicación de las técnicas de investigación documental en campo.

Existen tres niveles de investigación básicos utilizados en este proyecto, como son la investigación bibliográfica, de campo y finalmente la investigación experimental, las cuales se detallan a continuación:

La investigación bibliográfica ha sido utilizada con el fin de conocer, comparar, ampliar y profundizar conocimiento similar a esta investigación generado anteriormente en otras áreas de estudio.

La investigación de campo ha sido indispensable para el levantamiento de información y la toma de muestras.

El área de conocimientos en que se realizó la investigación, es experimental, porque los procedimientos y métodos de análisis se basan en la intervención de técnicas acordes al estudio de propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, en este caso, específicamente de la mesofauna edáfica.

Por otra parte, el nivel o tipo de investigación aplicada en este estudio, hace referencia también a una investigación descriptiva, a través de la descripción de los usos de suelo del área de estudio con cada uno de los parámetros a los que se refiere la presente investigación y otros conceptos necesarios en el transcurso del estudio.

Entendiendo el nivel de conocimientos que se adquieren, es una investigación explicativa, puesto que se analizaron las posibles causas de los resultados de la comparación de los indicadores de calidad del suelo en los dos usos de suelo, con el fin de brindar una explicación lógica y coherente. Mediante este tipo de investigación, que requiere la combinación de los métodos analítico y sintético, en conjugación con el deductivo y el inductivo, se logró responder o dar cuenta de los porqués del objeto que ha sido investigado.

El campo de conocimientos en los que se desarrolla esta investigación, es científica. Conforme al tipo de razonamiento empleado en esta investigación, es racional, debido a que predomina la interpretación, la reflexión lógica y la elaboración de relaciones significativas.

Acorde con el método utilizado, es analítica, sintética, deductiva, inductiva, y comparativa.

Y por último, conforme al número de investigadores que la realizan, es individual.

## **2.2. POBLACIÓN MUESTRA**

Debido a que la población se refiere a la mesofauna edáfica, es imposible medir cada uno de los individuos de dicha población, por lo tanto, se tomó una muestra representativa de la misma.

Siendo así que, el método de muestreo en esta investigación, fue el recomendado por el Programa de Biología y Fertilidad del Suelo Tropical, BFST (TSBF), método a través del cual se recolectaron 30 muestras mediante un muestreo aleatorio simple. La figura 21 indica claramente los puntos de monitoreo.

### 2.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La Operacionalización de la variable independiente y dependiente se analiza en la tabla 16 y 17, respectivamente.

**Tabla 16**

*Operacionalización de la variable independiente*

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>CATEGORÍAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>TÉCNICAS</b>
Uso de suelo	El uso del suelo implica la distribución espacial de la tierra para fines específicos. En la microcuenca del río Pomacocho se encuentran dos usos de suelo: páramo y plantaciones de pino. Las actividades forestales con especies exóticas dentro del	Actividad antrópica, conservación y protección	Identificar Analizar	Uso de suelo dentro del área de estudio (zonificación). Variación de áreas dedicadas a la conservación y protección del páramo y a las plantaciones pino.	Trabajo de campo y levantamiento de información primaria. Análisis de insumos cartográficos

---

páramo hacen que reduzca su  
ecosistema normal.

---

**Elaborado por:** María Elena Flores

**Tabla 17***Operacionalización de la variable dependiente*

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>CATEGORÍAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>TÉCNICAS</b>
Calidad de suelo	Capacidad específica que tiene un suelo de producir sin resultar degradado o sin perjudicar al ambiente. Los indicadores de la calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él. En cuanto a los indicadores biológicos, se estudia la biodiversidad de la mesofauna edáfica.	Indicadores físicos. Indicadores químicos. Indicadores biológicos (mesofauna edáfica).	Identificar Analizar Cuantificar Comparar Correlacionar	Tipo de suelo. Obtención de las muestras de suelo a través de la metodología del monolito TSBF, en páramo y plantación. Índices de biodiversidad. Análisis y comparación de los distintos indicadores en cada uno de los usos de suelo.	Trabajo de campo y levantamiento de información. Análisis de laboratorio. Análisis estadísticos.

**Elaborado por:** María Elena Flores

## **2.4. PROCEDIMIENTOS**

La importancia de un muestreo adecuado y óptimo, gira en torno al tipo de muestreo que el investigador ha elegido para realizar su investigación y consecuentemente a la calidad de muestras tomadas. Los procedimientos descritos a continuación tienen un orden lógico para lograr la máxima calidad y optimización de tiempo.

Para obtener una idea más clara del área de estudio, se procedió a realizar una visita de campo para luego proceder con la zonificación.

### ***2.4.1. ZONIFICAR Y UBICAR LOS PUNTOS DE MUESTREO EN EL ÁREA DE ESTUDIO***

Después de la visita de campo en el área de estudio, se procedió a la zonificación del área con la ayuda del programa ArcGis 10.2 (Figura 20) y se establecieron los puntos de monitoreo (Figura 21), tomando en cuenta que el número de unidades de muestreo o localizaciones a definir en cada sitio está básicamente en función de su extensión superficial.

Para la delimitación del área de estudio se utilizaron herramientas SIG, debido a que estas cuentan con una amplia gama de aplicaciones y procesos que permitieron obtener de una forma más rápida y sencilla el análisis y delimitación del sector. Como resultado se obtuvo el plano de información correspondiente a la microcuenca del río Pomacocho, que está dentro de la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

### ***2.4.2. ACTIVIDADES INHERENTES AL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS***

Los puntos de monitoreo deben estar claramente definidos para proceder a la recolección de las muestras de suelo. Debido a su extensión, el área de estudio fue dividido en las respectivas áreas, páramo y plantación de pino, divididos a su vez



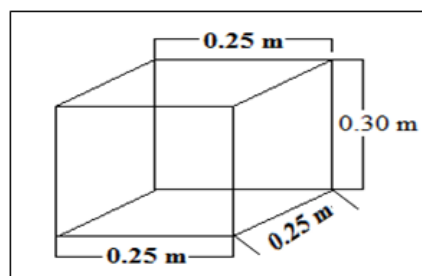
en tres zonas cada uno, las cuales fueron denominadas A, B y C, cada una de ellas con un transecto de 20.4 m, con la respectiva corrección de pendiente.

Para la corrección de pendiente se utilizaron los datos del Manual de campo del Ministerio del Ambiente expuestos en el punto A. 13. b. del marco teórico. Por tanto, se contó con 6 transectos, en los cuales se recolectaron 5 muestras en cada uno.

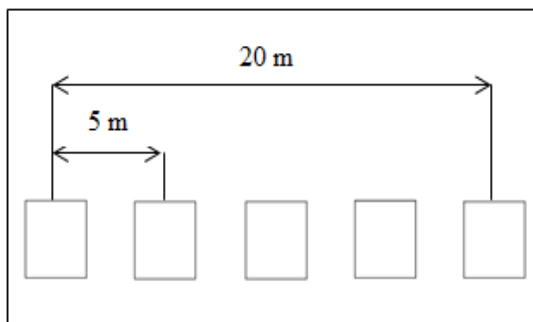
El método de muestreo para esta investigación fue el recomendado por el Programa de Biología y Fertilidad del Suelo Tropical, BFST (TSBF). (Anderson e Ingram, 1993)

Las muestras fueron recolectadas en el campo a través de un muestreo aleatorio simple, en el mes de marzo durante los horarios de la mañana, donde esta fauna tiene una mayor actividad en el suelo. En cada zona se tomaron 5 muestras, obteniendo un total de 30 muestras de suelo de toda el área de estudio.

Por tanto, cada muestra de suelo fue tomada de la siguiente manera; con la ayuda de los implementos necesarios como GPS, cámara fotográfica, pala, cinta métrica, fundas herméticas y marco metálico, se retiraron monolitos de suelo de 25 x 25 cm de área x 30 cm de profundidad (Figura 18), se utilizó un marco metálico para aislar el monolito del suelo y una pala para su extracción. El distanciamiento entre cuadrantes o monolitos debe ser de más de 5 m pero no más de 20 m (Figura 19).



*Figura 18.* Diseño del monolito  
Elaborado por: María Elena Flores



*Figura 19.* Distribución de monolitos por transecto  
Elaborado por: María Elena Flores

Después de que el monolito fue extraído del suelo, se procedió a depositarlo en las fundas herméticas con su respectiva rotulación (fecha y estrato) y rápidamente cada funda fue depositada en el cooler para su transporte al laboratorio.

La extracción de los organismos del suelo fue manual, para ello cada monolito fue analizado en el laboratorio. Cada monolito fue depositado en bandejas metálicas blancas y con la ayuda de agujas de disección y pinzas pequeñas se procedió a recolectar todo organismo visible y a colocarlos en frascos de plástico, cada uno con su respectivo código de muestra para evitar cualquier confusión y error. Se utilizó formaldehído al 6% para conservar los organismos; cada frasco poseía una cantidad suficiente que cubría los organismos recolectados.

Para la identificación de los organismos recolectados se utilizaron manuales de identificación y guías descriptivas de macroinvertebrados edáficos, con el fin de lograr identificarlos hasta el nivel de orden y familia; la identificación de estructuras y morfotipos fueron importantes al momento de la identificación de la mesofauna, para esto se utilizó el microscopio estereoscópico LBM LUXEO 4Z Zoom 4144000, Zoom 0,8 a 3,5x/8x a 35x, además se utilizó el software Pixel Pro, compatible con el estereoscopio. A más de ello, se realizó un registro fotográfico y se verificó con la base de datos en internet, de esta manera se logró obtener una descripción acertada de todas las especies identificadas, además de que cada identificación fue revisada por expertos en el tema.

### ***2.4.3. IDENTIFICAR Y DETERMINAR EL TIPO DE SUELO, LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y LA MESOFAUNA EDÁFICA DE AMBOS USOS DE SUELO: PÁRAMO Y PLANTACIONES DE PINO***

Ciertos parámetros de las propiedades físicas fueron analizados in situ, tales como la textura, estructura y color del suelo.

A continuación se exponen los procedimientos realizados para cada elemento del segundo objetivo.

#### **a. Textura**

En el campo se hizo una determinación de la textura utilizando una muestra colectada y usando el método de la sensibilidad del tacto, se procedió a evaluar la ocurrencia relativa de arcilla, limo y arena. Para realizar correctamente cada procedimiento se utilizó el manual de campo del Ministerio del Ambiente, 2012.

#### **b. Estructura**

La estructura se describió in situ, utilizando las definiciones del Manual de Campo del Ministerio del Ambiente, 2012, definiciones expuestas en el punto A. 9. del marco teórico.

#### **c. Color del suelo**

El color del suelo se identificó in situ usando la tabla de Munsell, presente en el manual de campo del Ministerio del Ambiente, 2012.

#### **d. Pedregosidad**

La pedregosidad se valoró in situ, con base a los porcentajes de piedras mayores a 4,5 mm encontradas en el suelo. Para esto se utilizaron las definiciones

del manual de campo del Ministerio del Ambiente, 2012, expuestas en el apartado A. 7. del presente estudio.

La determinación del tipo de suelo y los parámetros restantes fueron analizados en el laboratorio utilizando las mismas muestras recolectadas, datos que se exponen en las tablas 20 y 21.

#### ***2.4.4. REALIZAR UNA CORRELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO ENTRE PÁRAMO Y PLANTACIÓN DE PINO***

Para la obtención del tercer objetivo, se realizaron los análisis respectivos, tanto físicos como químicos, como se explicó anteriormente, ciertos parámetros fueron analizados in situ y los demás en el laboratorio, para luego proceder a la comparación de dichas propiedades en cada uno de los usos de suelo: páramo y plantación.

Se utilizó el software Statistics 22, en el cual se realizó el análisis de correlación de Pearson para determinar la relación o dependencia entre dos variables. Posteriormente se realizaron gráficas de relación para observar la correlación.

#### ***2.4.5. COMPARAR LOS ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD DE LA MESOFAUNA EDÁFICA EN AMBOS USOS DE SUELO***

Continuando con el cumplimiento del cuarto objetivo, se obtuvieron los índices de biodiversidad, para lo cual se realizaron las fórmulas expuestas en el punto D.2 del Marco Teórico. Se realizó un análisis estadístico utilizando el programa Excel y PAST para comparar los resultados entre los dos usos de suelo (páramo y plantación).

Después de obtener los datos necesarios se procedió a la comparación de índices de biodiversidad en cada uno de los usos de suelo.

#### **2.4.6. PROPONER ALTERNATIVAS VIABLES PARA MITIGAR EL IMPACTO PRODUCIDO POR LAS PLANTACIONES DE PINO EN EL SUELO PÁRAMO**

El cumplimiento de este último objetivo, dependió crucialmente de los resultados de la investigación, puesto que estos mencionarían la existencia o no de impactos negativos al ambiente, y con ello partir hacia la propuesta de alternativas viables para mitigar el impacto producido por las plantaciones de pino en el suelo páramo.

#### **2.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

Después de haber obtenido todos los datos necesarios, se procedió a la comparación de los parámetros físicos y químicos de ambos usos de suelo, páramo y plantación de *Pinus radiata*. Con dicha comparación se pudo estimar la alteración en el suelo de plantación, efecto que el pino ejerce en el suelo páramo.

Para conocer la relación recíproca entre los parámetros analizados en el área de estudio, se realizó una correlación lineal (Pearson) de los parámetros físico-químicos del suelo de toda el área de estudio y entre páramo y plantación de pino. Con ello, se logró identificar la dependencia entre variables.

La identificación y conteo de los macroinvertebrados, fue indispensable para determinar el número, densidad, balance de los grupos y biodiversidad. Con ello se identificaron los posibles indicadores biológicos de la calidad del suelo y se evaluaron las perturbaciones ocasionadas por las plantaciones de pino en el suelo páramo en base a relaciones entre la mesofauna edáfica.

Con la finalidad de determinar la biodiversidad de la mesofauna edáfica en cada uso de suelo, y con ello identificar el efecto de las plantaciones de pino sobre la abundancia y riqueza de la mesofauna edáfica, se procedió a analizar varios índices de biodiversidad, entre estos, el índice de Margalef, Shannon, Simpson y Sorensen.

Finalmente, después de conocer el impacto que generan las plantaciones de pino en el páramo, se elaboró como propuesta técnica un Plan de Manejo de páramos, que servirá como guía para el adecuado uso del ecosistema y con ello mitigar el impacto causado en el suelo páramo.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS

#### A. ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

##### 1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en la República del Ecuador, en la provincia de Chimborazo, cantón Alausí que tiene una superficie de 1514,89 Km<sup>2</sup> aproximadamente, dentro del cual se encuentra la parroquia Achupallas con alrededor de 852,41 Km<sup>2</sup>, donde está localizada la microcuenca del río Pomacocho con una superficie aproximada de 75 Km<sup>2</sup>, lo que corresponde al 8,79% aproximadamente con relación a la superficie total de la parroquia y con un 4,95% de superficie con relación al Cantón. (Ortega y Saavedra, 2013, p.66)

Geográficamente el estudio realizado en la microcuenca del río Pomacocho se encuentra localizado en las siguientes coordenadas:

**Tabla 18**  
*Coordenadas UTM de ubicación de la microcuenca del río Pomacocho, Sistema WGS 84*

<b>Extremo</b>	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>
Superior Izquierdo	758000	9748000
Superior Derecho	770000	9748000
Inferior Izquierdo	758000	9734000
Inferior Derecho	770000	9734000

**Fuente:** (Ortega y Saavedra, 2013)

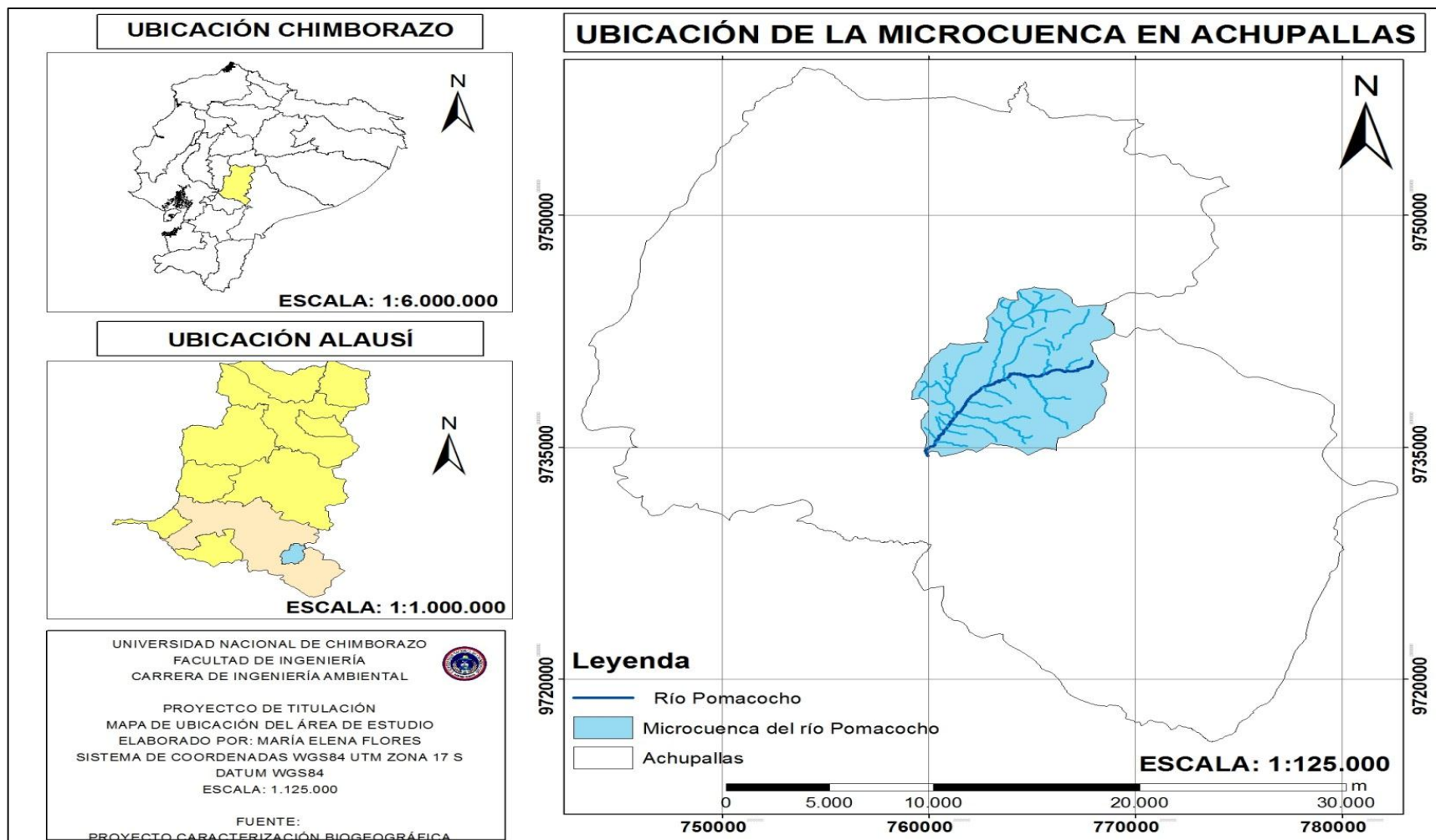


Figura 20. Mapa de Ubicación del área de estudio  
 Elaborado por: María Elena Flores



El área de estudio, según los datos obtenidos de la estación meteorológica de la UNACH (M5139), ubicada en Ozogoche, la microcuenca del río Pomacocho posee una altitud de 4000 msnm, la temperatura oscila entre 9 – 16 °C, posee una humedad relativa del 83 % y una precipitación anual de 842 mm.

## **2. PUNTOS DE MONITOREO**

Los puntos de monitoreo son áreas determinadas elegidas por el investigador que permiten estudiar la dinámica y comportamiento de los ecosistemas naturales con el propósito de obtener información esencial para ser utilizada en el momento de tomar decisiones.

En el presente estudio se implementaron seis transectos distribuidos de forma sistemática en toda el área de estudio en donde se realizó la toma de muestras para las propiedades físico-químicas del suelo y la identificación de la mesofauna edáfica.

La tabla 19 indica los transectos distribuidos en la microcuenca del río Pomacocho, los mismos que están debidamente georreferenciados y ubicados en sitios donde fue posible realizar el levantamiento de información (monitoreo).

**Tabla 19**

### ***Ubicación de los puntos de monitoreo***

	<b>ID</b>	<b>Sector</b>	<b>COORD_X</b>	<b>COORD_Y</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
<b>Páramo</b>	Transecto 01		761971,17	9740437,156	3992
	Transecto 02		761878,22	9740158,306	3875
	Transecto 03	Microcuenca del río Pomacocho	761766,68	9739879,456	3870
<b>Plantación de pino</b>	Transecto 04		762454,51	9740065,356	3980
	Transecto 05		762342,97	9739823,686	3945
	Transecto 06		762250,02	9739563,427	4075

**Elaborado por:** María Elena Flores

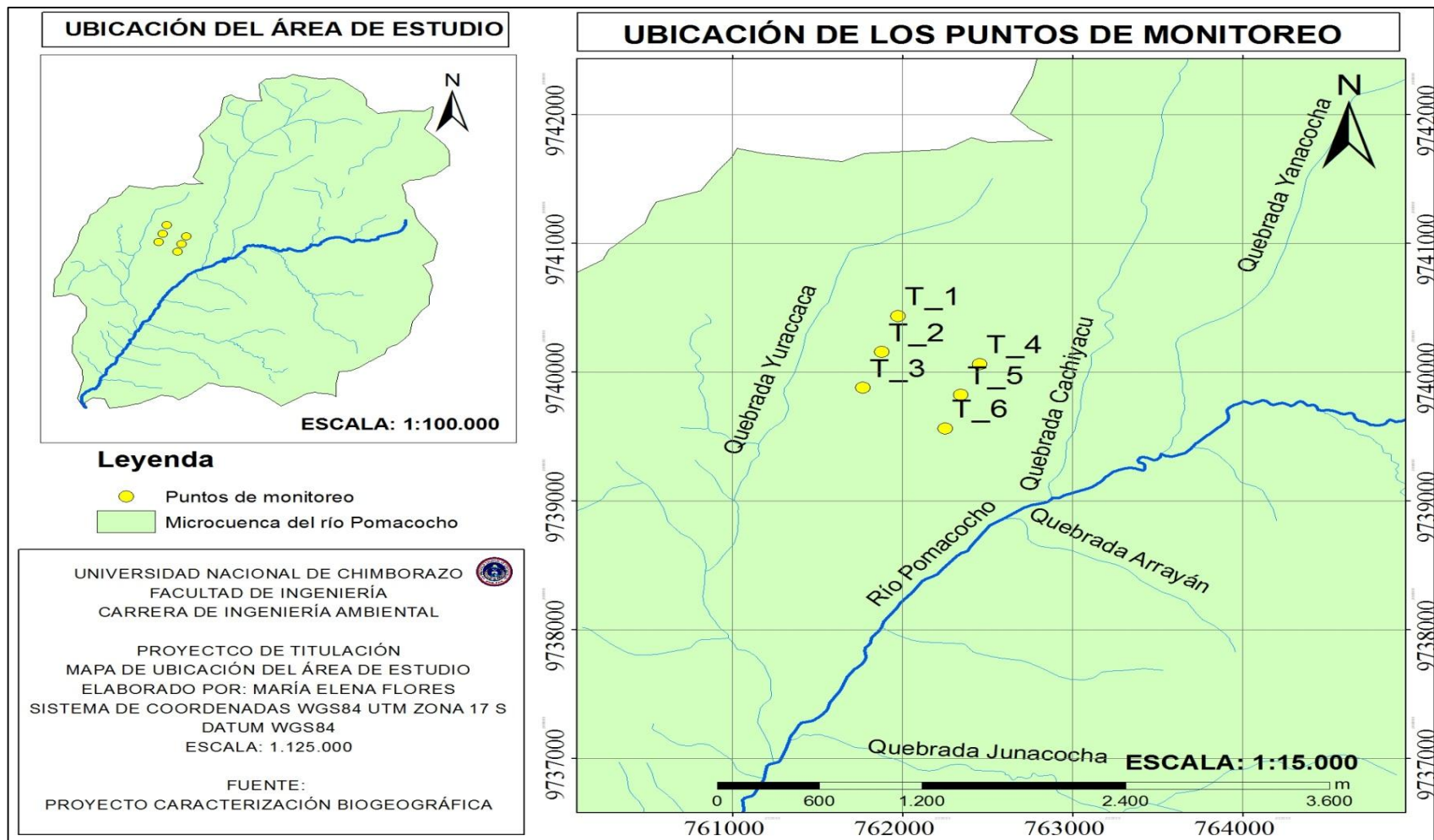


Figura 21. Distribución de los puntos de monitoreo  
 Elaborado por: María Elena Flores

## B. TIPO DE SUELO, PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

El análisis físico de las muestras analizadas determinó que el suelo del sector es de tipo Andosol, propio de un suelo desarrollado en cenizas volcánicas. En la tabla 20 se exponen los diferentes análisis de los indicadores físicos.

### 1. PROPIEDADES FÍSICAS

**Tabla 20**

*Parámetros físicos del suelo*

ID	Transecto	Textura (%)	Estructura	Color	Pedregosidad	DAP g/cm <sup>3</sup>	Humedad %
Páramo	01	FY	Granular	10YR -2,5/1	<5%	0,31	64,43
	02	FY	Granular	10YR -2,5/1	<5%	0,31	60,27
	03	FY	Granular	10YR -2,5/1	<5%	0,31	64,33
Plantación	04	FY	Granular	10YR -2,5/1	<5%	0,38	54,35
	05	FY	Granular	10YR -2,5/1	<5%	0,38	54,44
	06	FY	Granular	10YR -2,5/1	<5%	0,38	54,23

10YR – 2,5/1: Negro

**Elaborado por:** María Elena Flores

En la tabla 20 se exponen las propiedades físicas del suelo donde se expone que ambos usos de suelo mantienen constantes los siguientes parámetros: poseen una textura franco-arcilloso, es decir que posee partículas lo suficientemente grandes y pequeñas por lo tanto el aire y el agua pueden fluir fácilmente, la estructura es granular, es decir que el tamaño de los agregados oscila entre 5 a 10 mm, de igual manera, ambos presentan una coloración 10YR- 2,5/1 (negros) y la pedregosidad es menor al 5%, lo que indica que posee muy pocas rocas de tamaño pequeño dispersas sobre la superficie del suelo.

Por el contrario, los valores para la DAP y el porcentaje de humedad varían en ambos usos de suelo. En el suelo páramo la DAP es de 0,31 g/cm<sup>3</sup> (constante) se evidencia una DAP mayor en el suelo de plantación con 0,38 g/cm<sup>3</sup> (constante),

diferenciándose con  $0,07\text{g/cm}^3$ . La humedad promedio expresada en porcentaje en el suelo páramo es de 63,01, se evidencia una reducción del 8,67% en el suelo de plantación que presenta un 54,34% de humedad.

## 2. PROPIEDADES QUÍMICAS

**Tabla 21**

*Parámetros químicos del suelo*

ID	Transecto	MO %	C %	pH	Cond. eléctrica $\mu\text{S/cm}$	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca mg/L
Páramo	1	41,19	23,9	5,4	70,17	70	50	0,39	11,81
	2	42,17	24,5	5,6	74,7	90	20	0,27	0,59
	3	40,99	23,8	5,8	72,8	55	22	0,18	1,52
	<b>Promedio</b>	<b>41,45</b>	<b>24,04</b>	<b>5,6</b>	<b>72,56</b>	<b>71,67</b>	<b>30,7</b>	<b>0,28</b>	<b>4,64</b>
Plantación	4	40,82	23,68	5,6	71,7	60	35	0,25	7,23
	5	40,69	23,60	5,4	71,19	65	18	0,26	0,4499
	6	40,82	23,68	5,2	71,55	45	25	0,14	0,5075
	<b>Promedio</b>	<b>40,78</b>	<b>23,65</b>	<b>5,4</b>	<b>71,48</b>	<b>56,67</b>	<b>26</b>	<b>0,22</b>	<b>2,73</b>

**Elaborado por:** María Elena Flores

En cuanto al comportamiento de la materia orgánica, se observó que esta no difiere en gran medida, puesto que en el suelo páramo se verifica un 41,45% y en el suelo de plantación un 40,78%, es decir, se diferencia en un 0,67%, evidenciando un mayor porcentaje en el suelo páramo.

Ahora bien, el carbono de ambos usos de suelo se diferencia en un 0,39%, evidenciándose un mayor porcentaje en el suelo páramo con un 24,04%.

El pH del suelo páramo fue moderadamente ácido al presentar un pH de 5,6. Sin embargo, en el suelo de la plantación de pino se evidenció un pH fuertemente ácido al ser un valor de 5,4.

En cuanto a la conductividad eléctrica, relacionando los dos usos de suelo se diferencian con un  $1,08\ \mu\text{S/cm}$ , evidenciándose que la conductividad eléctrica fue mayor en el suelo páramo con un valor de  $72,56\ \mu\text{S/cm}$ .

También se aprecia, en el mismo cuadro, que los valores para N, P, K, se encuentran en niveles altos para el suelo de páramo y en el suelo de plantación presentan niveles medios, puesto que el N presente en el suelo de plantación fue de 56,67 ppm a diferencia de los 71,67 ppm de N presente en el suelo páramo, diferenciándose con 15 ppm en ambos usos de suelo.

El P presente en el suelo de plantación fue de 26 ppm a diferencia de los 30,7 ppm de N presente en el suelo páramo, diferenciándose con 4,7 ppm en ambos usos de suelo.

El K presente en el suelo de plantación fue de 0,22 ppm a diferencia de los 0,28 ppm de K presente en el suelo páramo, diferenciándose con 0,06 ppm en ambos usos de suelo.

El Ca presente en el suelo de plantación fue de 2,73 mg/L, a diferencia de los 4,64 mg/L presente en el suelo páramo. El Ca ha reducido en 1,91 mg/L en el suelo de plantación.

### **C. CORRELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO**

Las variables físicas escogidas para el análisis del perfil del suelo fueron densidad aparente y el porcentaje de humedad, puesto que las demás variables no varían en los usos de suelo.

Sin embargo, no se pudo realizar la correlación entre estas dos variables porque una de las variables es constante, en este caso, la densidad aparente es constante en el páramo y en el suelo de plantación.

En la tabla 21 se presentaron los valores de las propiedades químicas evaluadas de dos usos de suelo, páramo y plantación de pino, las variables químicas escogidas para el análisis de correlación lineal fueron: MO, C, pH, Conductividad eléctrica, N, P, K y Ca.

En la correlación se incluyó la humedad y la mesofauna edáfica. En la siguiente tabla se exponen los resultados obtenidos de la correlación.

**Tabla 22**

**Resultados de análisis de correlación lineal (Pearson) para todas las variables analizadas**

	pH	MO	C	C.E	Hum	N	P	K	Ca	Sp
pH	1									
MO	0,250	1								
C	0,253	1**	1							
C.E	0,497	0,745	0,748	1						
Hum	0,479	0,426	0,427	0,129	1					
N	0,289	0,847*	0,844*	0,509	0,322	1				
P	0,163	-0,089	-0,091	0,623	0,347	0,004	1			
K	0,026	0,292	0,286	0,322	0,414	0,621	0,682	1		
Ca	0,007	-0,086	-0,088	0,590	0,355	0,084	0,977**	0,753	1	
Sp	0,533	-0,400	-0,396	0,001	0,322	0,267	-0,013	0,212	0,120	1

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas)

\* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas)

**Elaborado por:** María Elena Flores

Los resultados de correlación lineal indican que el pH está medianamente correlacionado con las Sp ( $r= 0,533$ ), mientras que con los demás parámetros muestra una correlación débil.

Por otro lado, la Materia Orgánica indica una correlación positiva muy fuerte con el C con un valor de  $r= 1$ , mientras que la C.E. presenta una correlación considerable de  $r= 0,745$ , también se evidencia una correlación muy fuerte con el N con  $r= 0,847$ .

Estos resultados podrían sugerir que el Carbono, la conductividad eléctrica y el Nitrógeno, son un resultado del incremento de la materia orgánica.

La correlación entre el Carbono y la conductividad eléctrica es considerable de  $r=0,748$ , en tanto que la correlación con el Nitrógeno es fuerte con  $r=0,844$ . La correlación entre el Fósforo y Calcio es muy fuerte con  $r= 0,977$ , también se evidencia una correlación fuerte entre el Potasio y Calcio con  $r= 0,753$ , lo que sugiere que los incrementos del Ca son correspondidos con incrementos de P y K.

**Tabla 23**

**Resultados de los análisis correlación lineal (Pearson) entre las variables de páramo y plantación**

		Plantación												
		pH	MO	C	C.E	Hum	N	P	K	Ca	Sp			
Páramo	pH	-0,999*												
	MO		-0,987											
	C			-0,989										
	C.E				-0,947									
	Hum					-0,810								
	N						0,935							
	P							0,935						
	K								0,777					
	Ca									0,998*				
	Sp											0,785		

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas)

\* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas)

**Elaborado por:** María Elena Flores

Los resultados de correlación lineal indican que el pH posee una correlación negativa muy fuerte ( $r = -0,999$ ), lo que indica que mientras en un uso de suelo aumenta el pH en el otro uso de suelo el pH reduce y viceversa.

Por otro lado, la Materia Orgánica, el Carbono y la conductividad eléctrica indican una correlación negativa muy fuerte en ambos usos de suelo con  $r = -0,987$ ,  $-0,989$ ,  $-0,947$ , respectivamente.

La correlación en la humedad y las especies, es negativa fuerte con  $r = -0,810$  y  $-0,785$ , respectivamente.

En cuanto al N, P y Ca, los resultados indican que la correlación es muy fuerte positiva con  $r = 0,935$ ,  $0,935$  y  $0,998$  respectivamente, lo que indica que los valores son directamente proporcionales. El K en ambos usos de suelo indica una correlación considerable con  $r = 0,777$ .

## D. MESOFAUNA EDÁFICA

Las comunidades de la mesofauna del suelo en las áreas de estudio comprenden 9 clases, 15 órdenes, 31 familias y 44 especies. En la tabla 24 se muestra la composición taxonómica.

**Tabla 24**

*Composición taxonómica de la mesofauna edáfica presente en la microcuenca del río Pomacocho*





CLASE	ORDEN	FAMILIA	IMAGEN	COD
		Lohmanniidae		sp10
	Astigmata			
		Acaridae		sp16
Acari				
				sp26
	Trombidiformes	Trombidiidae		
				sp41



Tabla 24. *Continúa.*














CLASE	ORDEN	FAMILIA	IMAGEN	COD
		Linyphiidae		sp31
Arachnida	Araneae	Agelenidae		sp36
		Lycosidae		sp40
Chilopoda	Geophilomorpha	Geophilidae		sp15
		Enchytraeidae		sp1
Clitellata	Haplotaxida			sp43
		Lumbricidae		sp2

Tabla 24. *Continúa.*






CLASE	ORDEN	FAMILIA	IMAGEN	COD
				sp6
				sp7
Clitellata	Haplotaxida	Lumbricidae		sp21
				sp22
				sp42
Collembola	Entomobryomorpha	Isotomidae		sp9

Entomobryidae



sp33

Tabla 24. *Continúa.*

CLASE	ORDEN	FAMILIA	IMAGEN	COD
		Rhinocricidae		sp27
	Spirobolida			
		Trigoniulidae		sp32
Diplopoda				
	Glomeridesmida	Glomeridesmidae		Sp39
	Platydesmida	Platydesmidae		sp24
Insecta	Coleoptera	Carabidae		sp19

Curculionidae Entiminae








sp12

Scarabaeidae



sp3

Tabla 24. *Continúa.*

CLASE	ORDEN	FAMILIA	IMAGEN	COD
				sp8
		Scarabaeidae		sp28
Insecta	Coleoptera			sp30
				sp37
		Staphylinidae		sp5

Tenebrionidae



sp14







sp17



sp20

Tabla 24. *Continúa.*

CLASE	ORDEN	FAMILIA	IMAGEN	COD
		Dolichopodidae		sp4
		Chironomidae		sp23
Insecta	Diptera	Limoniidae		Sp29
		Rhagionidae		sp11







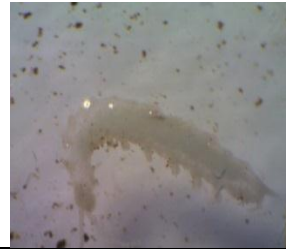
		Sciaridae		sp44
		Tipulidae		sp25
	Hemiptera	Enicocephalidae		sp35

Tabla 24. *Continúa.*

CLASE	ORDEN	FAMILIA	IMAGEN	COD
		Pyralidae		sp13
Insecta	Lepidoptera	Tineidae		sp18
Malacostraca	Isopoda	Porcellionidae		sp38

Symphyla      Symphyla      ScutigereLLidae



sp34

**Elaborado por:** María Elena Flores

Se colectó un total de 2011 individuos, en 30 monolitos realizados, de las cuales fueron Clitellata con 826 individuos en plantación y 545 individuos en páramo, seguido de la clase Insecta con 268 individuos en plantación y 207 en páramo, y a continuación Collembola con 48 individuos en plantación y 13 en páramo, seguido de Acari con 47 individuos en plantación y 4 en páramo, la clase Chilopoda muestra 18 individuos en plantación y 9 en páramo, seguido por la clase Diplopoda con 13 individuos en plantación y 2 en páramo; mientras que la clase Arachnida, Malacostraca y Symphyla muestran individuos solo en el suelo de plantación con 7, 3 y 1 individuos respectivamente.

En la siguiente figura se muestran las clases más representadas de la mesofauna edáfica encontrada en la microcuenca del río Pomacocho, en ambos usos de suelo, páramo y plantación de pino.

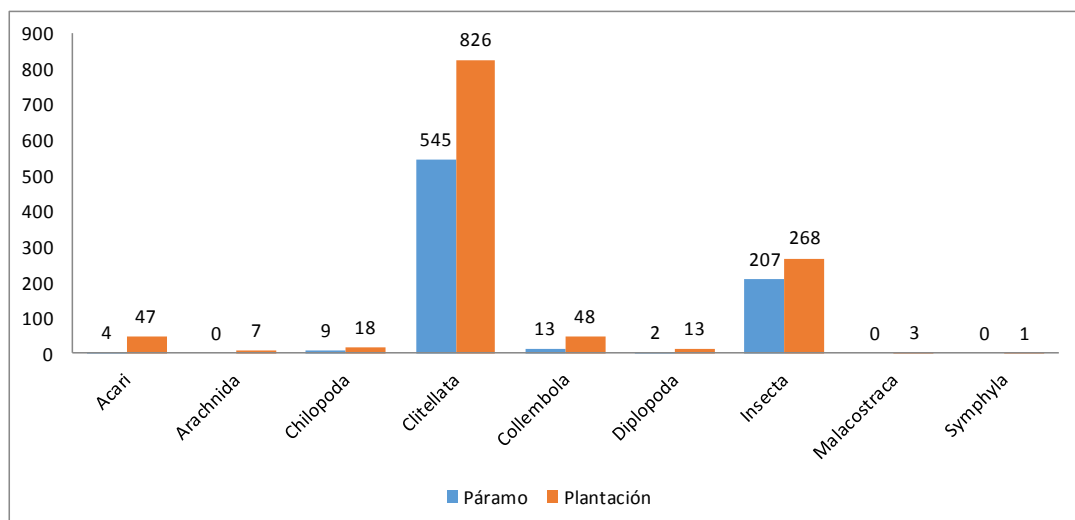


Figura 22. Clases de la mesofauna edáfica presente en páramo y plantación  
Elaborado por: María Elena Flores

En la siguiente tabla se expone el número de individuos encontrados en cada uno de los transectos.

**Tabla 25**

*Número de individuos colectados*

<b>Familia</b>	<b>T_01</b>	<b>T_02</b>	<b>T_03</b>	<b>T_04</b>	<b>T_05</b>	<b>T_06</b>	<b>Total</b>
Enchytraeidae sp1	62	42	144	29	46	18	<b>341</b>
Lumbricidae sp1	1	0	0	11	9	5	<b>26</b>
Scarabaeidae sp1	6	0	0	12	2	3	<b>23</b>
Dolichopodidae	13	0	13	47	29	24	<b>126</b>
Staphylinidae	1	3	0	3	2	0	<b>9</b>
Lumbricidae sp2	2	32	2	3	9	3	<b>51</b>
Lumbricidae sp3	1	1	0	0	0	1	<b>3</b>
Scarabaeidae sp2	1	3	0	1	0	0	<b>5</b>
Isotomidae	6	6	1	2	3	1	<b>19</b>
Lohmanniidae	1	0	0	24	0	16	<b>41</b>
Rhagionidae	0	3	0	3	7	9	<b>22</b>
Curculionidae Entiminae	0	2	0	0	0	1	<b>3</b>
Pyralidae	0	1	3	1	0	0	<b>5</b>

**Tabla 25. Continúa.**

<b>Familia</b>	<b>T_01</b>	<b>T_02</b>	<b>T_03</b>	<b>T_04</b>	<b>T_05</b>	<b>T_06</b>	<b>Total</b>
Tenebrionidae sp1	0	3	1	1	0	3	<b>8</b>
Geophilidae	0	7	2	0	3	15	<b>27</b>
Acaridae	0	1	1	5	0	1	<b>8</b>
Tenebrionidae sp2	0	5	0	11	1	0	<b>17</b>
Tineidae	0	1	0	0	0	0	<b>1</b>
Carabidae	0	2	0	0	2	0	<b>4</b>
Tenebrionidae sp3	0	1	0	0	0	0	<b>1</b>
Lumbricidae sp4	0	1	0	5	2	1	<b>9</b>
Lumbricidae sp5	0	2	0	0	3	2	<b>7</b>
Chironomidae	0	2	141	0	0	0	<b>143</b>
Platydesmidae	0	1	0	0	0	0	<b>1</b>
Tipulidae	0	0	1	0	0	0	<b>1</b>
Trombidiidae sp1	0	0	1	0	0	0	<b>1</b>
Rhinocricidae	0	0	1	6	0	1	<b>8</b>
Scarabaeidae sp3	0	0	1	0	0	0	<b>1</b>
Limoniidae	0	0	0	12	7	0	<b>19</b>
Scarabaeidae sp4	0	0	0	6	1	0	<b>7</b>



Linyphiidae	0	0	0	1	0	0	<b>1</b>
Trigoniulidae	0	0	0	4	0	0	<b>4</b>
Entomobryidae	0	0	0	16	9	17	<b>42</b>
Scutigereidae	0	0	0	1	0	0	<b>1</b>
Enicocephalidae	0	0	0	1	0	0	<b>1</b>
Agelenidae	0	0	0	1	0	4	<b>5</b>
Scarabaeidae sp5	0	0	0	1	3	2	<b>6</b>
Porcellionidae	0	0	0	1	0	2	<b>3</b>
Glomeridesmidae	0	0	0	0	1	1	<b>2</b>
Lycosidae	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>
Trombidiidae sp2	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>
Lumbricidae sp6	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>
Enchytraeidae sp2	60	81	114	437	177	64	<b>933</b>
Sciaridae	0	0	0	73	0	0	<b>73</b>
<b>Total</b>	<b>154</b>	<b>200</b>	<b>426</b>	<b>718</b>	<b>316</b>	<b>197</b>	<b>2011</b>

---

**Elaborado por:** María Elena Flores

## 1. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR TRANSECTO

Para determinar la población por transecto se analizaron los bloques de suelo (monolitos) para poder cuantificar un valor promedio de las especies por unidad de superficie, los cuales varían de acuerdo a los puntos de monitoreo y zonas de estudio.

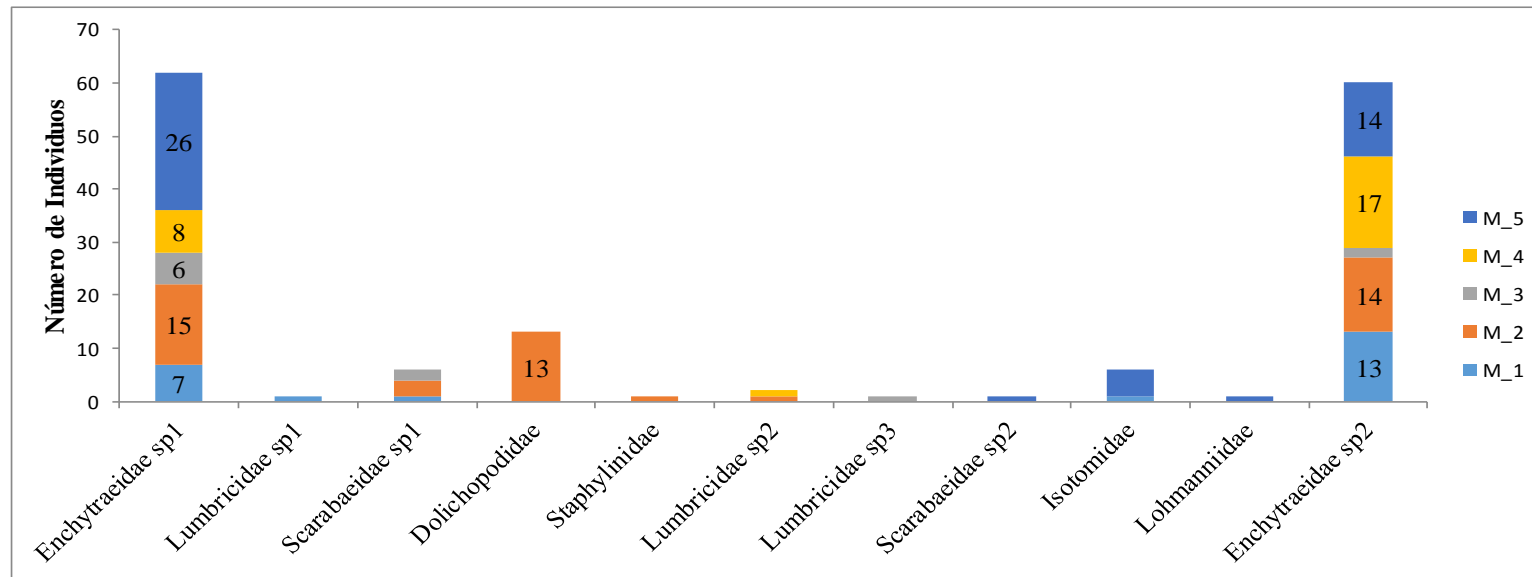


Figura 23. Variación de la mesofauna en el Transecto 01  
Elaborado por: María Elena Flores

En la figura 23, se indica la variación de los individuos en los diferentes bloques de suelo (monolitos), en los cuales se observa una distribución diferente, la mayor concentración de individuos lo encontramos en la muestra 5, pertenecientes a la familia Enchytraeidae con 26 y 14 individuos de diferente especie. El valor total de individuos del transecto es de 154 individuos.

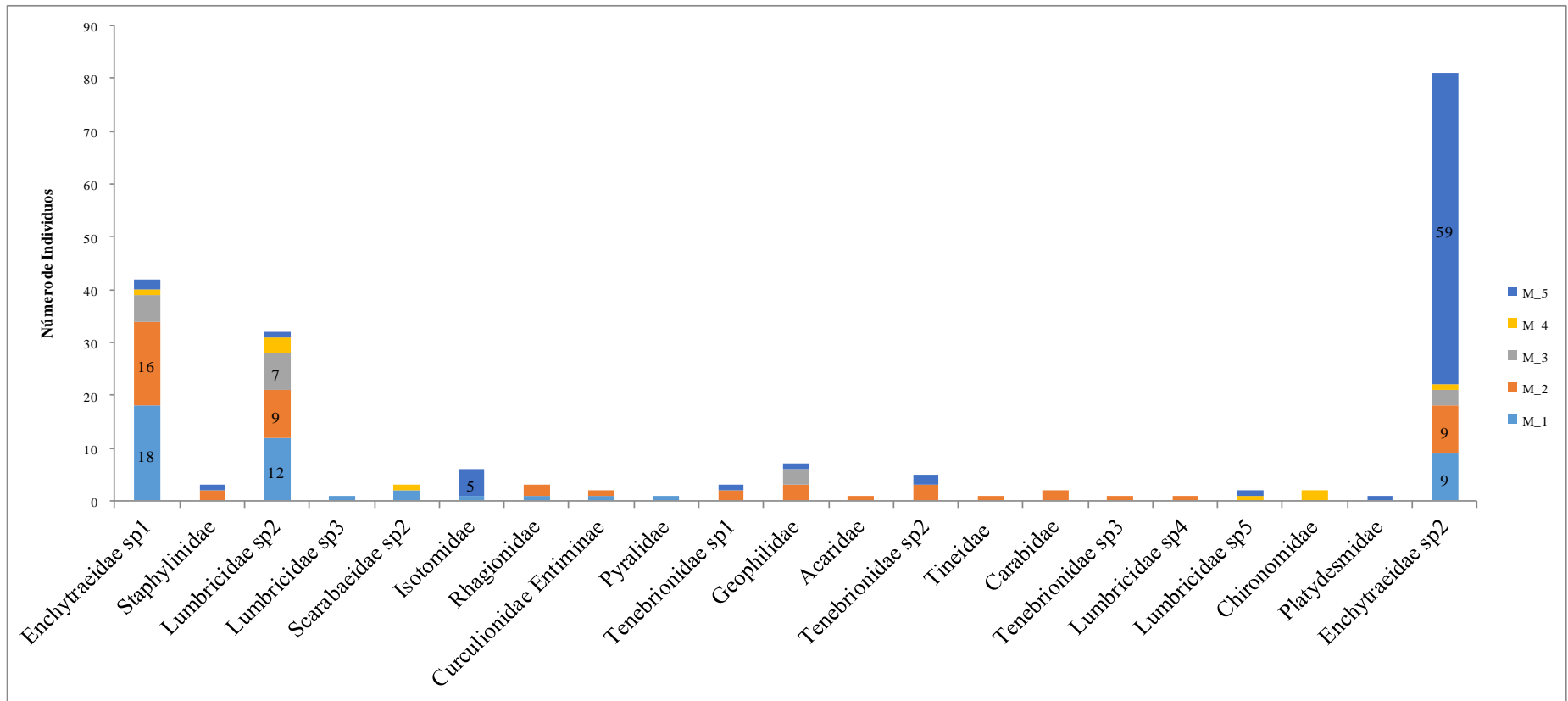


Figura 24. Variación de la mesofauna en el Transecto 02

Elaborado por: María Elena Flores

En la figura 24, se indica la variación de los individuos en los diferentes bloques de suelo (monolitos), en los cuales se observa una distribución diferente, la mayor concentración de individuos lo encontramos en la muestra 5, pertenecientes a la familia Enchytraeidae con 2 y 59 individuos de diferente especie. El valor total del transecto es de 200 individuos.

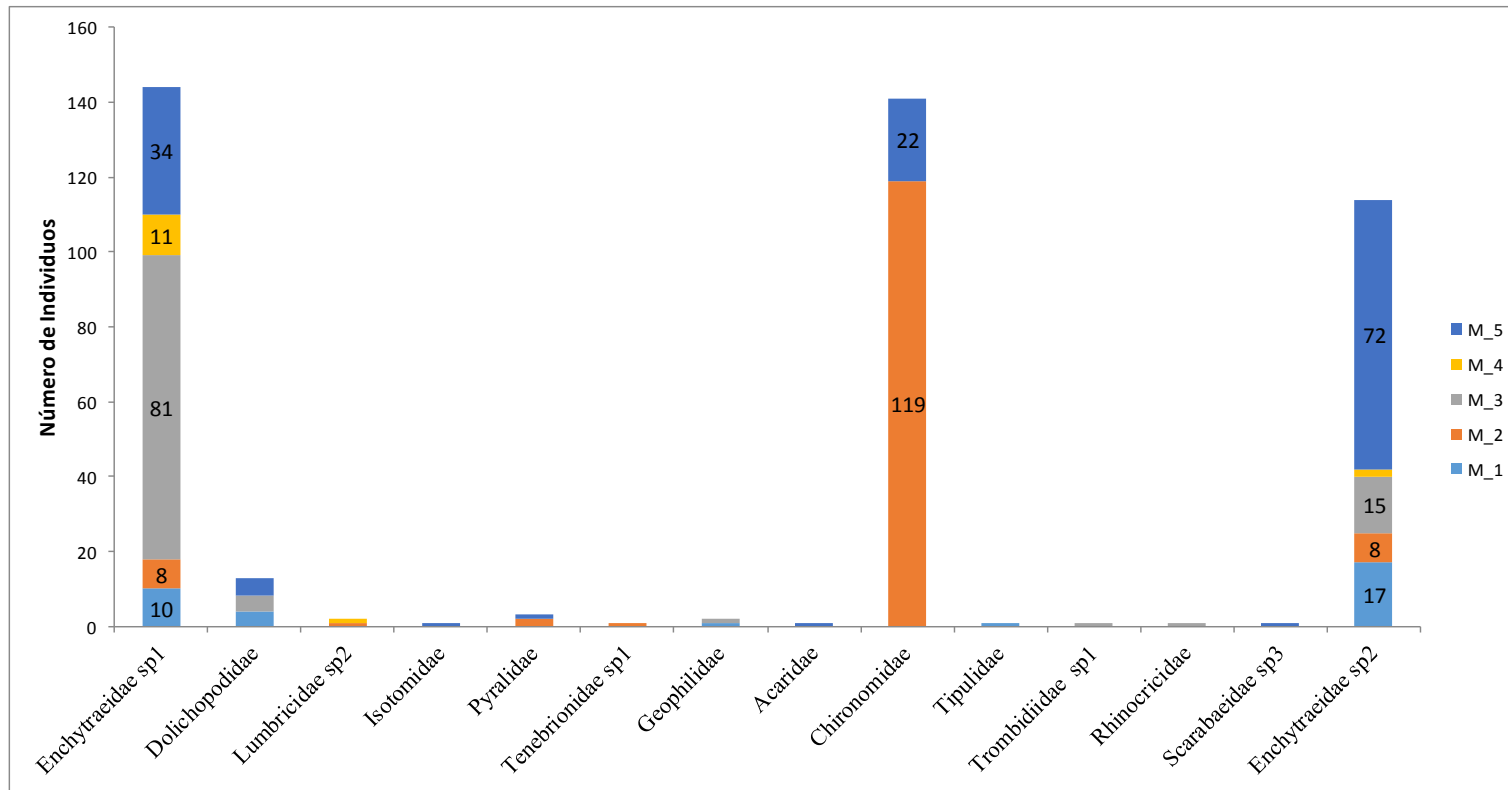


Figura 25. Variación de la mesofauna en el Transecto 03  
Elaborado por: María Elena Flores

En la figura 25, se indica la variación de los individuos en los diferentes bloques de suelo (monolitos), en los cuales se observa una distribución diferente, la mayor concentración de individuos lo encontramos en la muestra 2, pertenecientes a la familia Chironomidae con 119 individuos. El valor total del transecto es de 426 individuos.

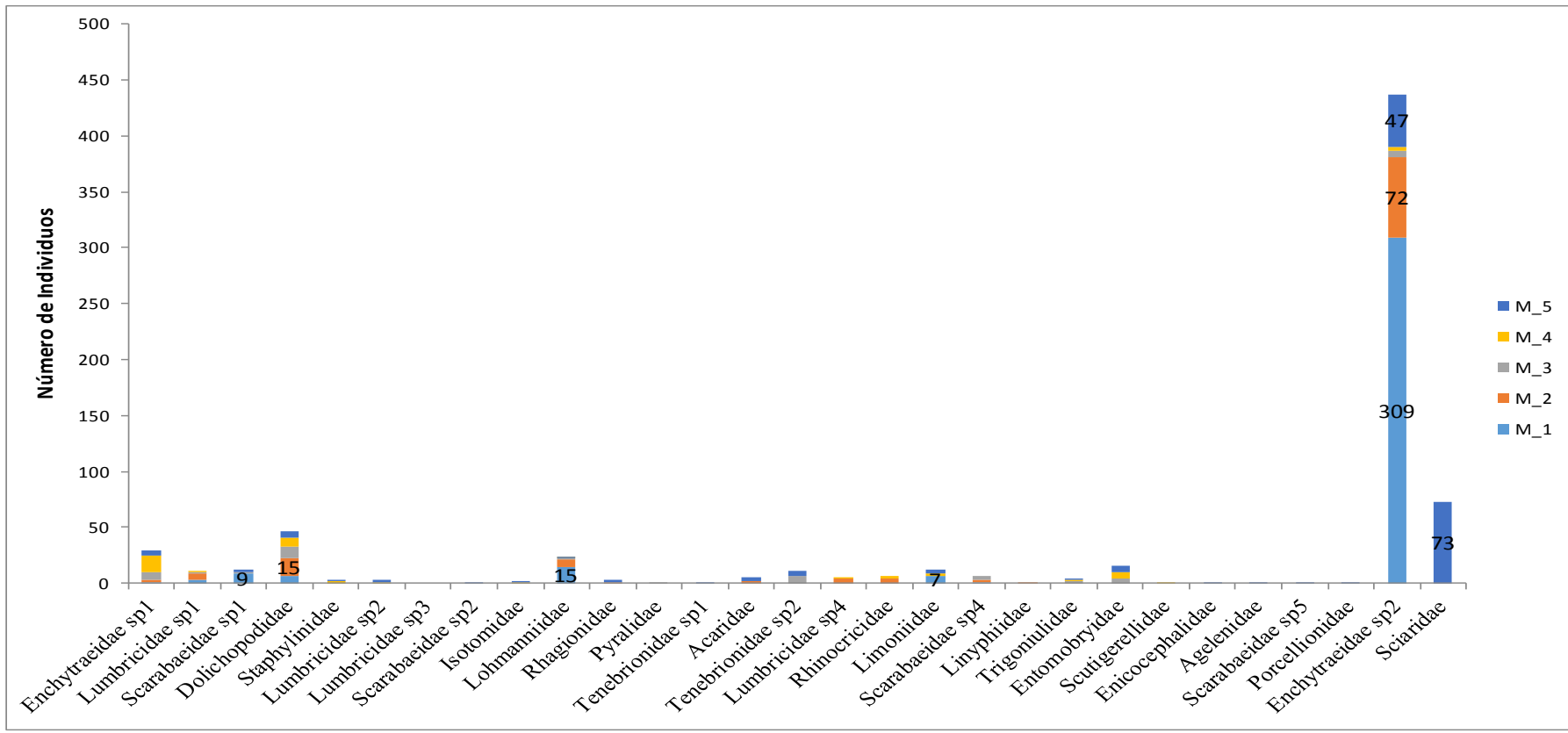


Figura 26. Variación de la mesofauna en el Transecto 04  
 Elaborado por: María Elena Flores

En la figura 26, se indica la variación de los individuos en los diferentes bloques de suelo (monolitos), en los cuales se observa una distribución diferente, la mayor concentración de individuos lo encontramos en la muestra 1, pertenecientes a la familia Enchytraeidae con 309 individuos. El valor total del transecto es de 718 individuos.

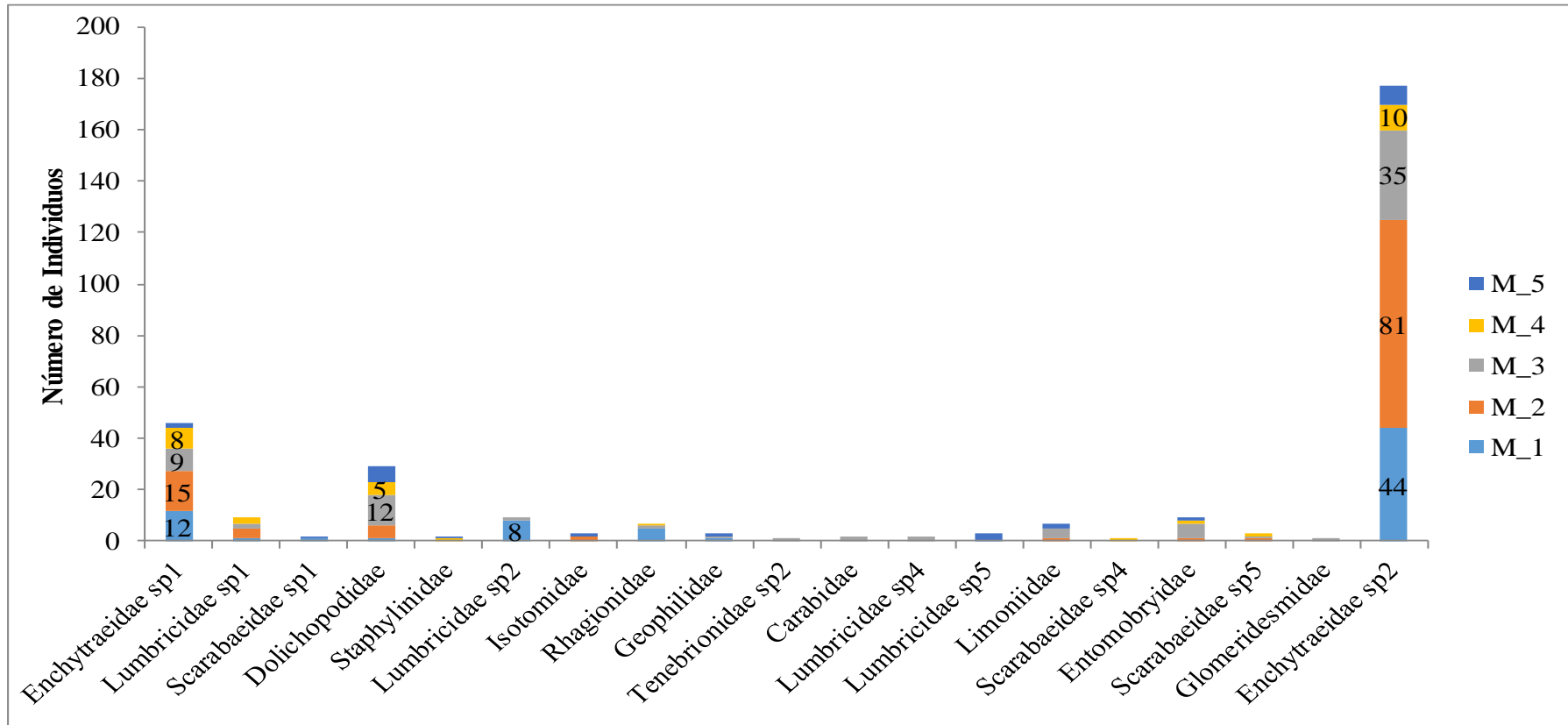


Figura 27. Variación de la mesofauna en el Transecto 05  
Elaborado por: María Elena Flores

En la figura 27, se indica la variación de los individuos en los diferentes bloques de suelo (monolitos), en los cuales se observa una distribución diferente, la mayor concentración de individuos lo encontramos en la muestra 2, pertenecientes a la familia Enchytraeidae con 81 individuos. El valor total del transecto es de 316 individuos.

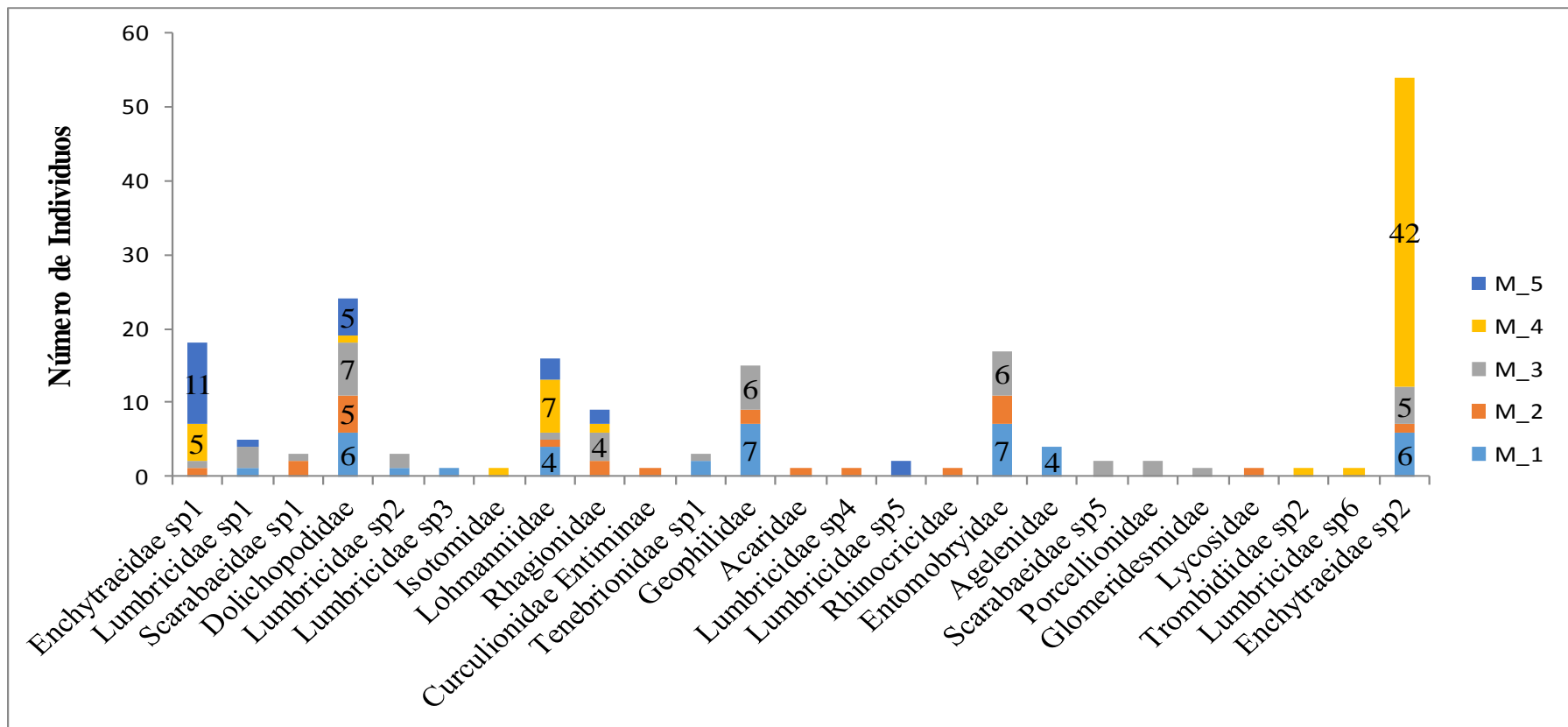


Figura 28. Variación de la mesofauna en el Transecto 06  
Elaborado por: María Elena Flores

En la figura 28, se indica la variación de los individuos en los diferentes bloques de suelo (monolitos), en los cuales se observa una distribución diferente, la mayor concentración de individuos lo encontramos en la muestra 1, pertenecientes a la familia Enchytraeidae con 42 individuos. El valor total del transecto es de 187 individuos.

## ***2. DENSIDAD DE ESPECIES***

La figura 29 muestra la distribución de la mesofauna en las cinco muestras analizadas del transecto 01, la misma que posee un valor medio de 374 individuos por metro cuadrado, el valor más alto corresponde a la familia Enchytraeidae con 124 y 120 individuos de diferente especie, seguido de la familia Dolichopodidae con 26 individuos/m<sup>2</sup>, el restante de individuos pertenecientes a las familias: Lumbricidae, Scarabaeidae, , Staphylinidae, Isotomidae y Lohmanniidae, se encuentran en menor proporción pero de igual importancia para mantener el equilibrio dentro del ecosistema.



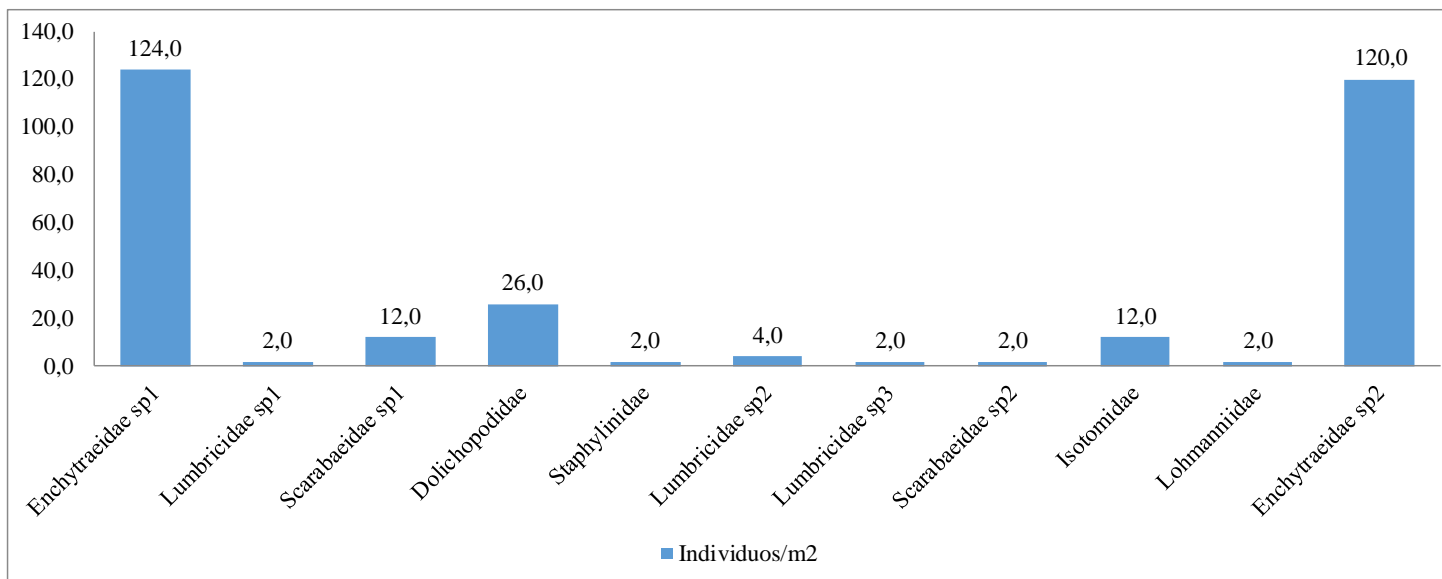


Figura 29. Densidad de la mesofauna en el Transecto 01.  
Elaborado por: María Elena Flores

La figura 30 muestra la distribución de la mesofauna en las cinco muestras analizadas del transecto 02, la misma que posee un valor medio de 400 individuos por metro cuadrado, el valor más alto corresponde a la familia Enchytraeidae con 162 y 84 individuos de diferente especie, el segundo valor más alto corresponde a la familia Lumbricidae con 64 individuos, el restante de individuos pertenecientes a las familias: Staphylinidae, Scarabaeidae, , Isotomidae, Rhagionidae, Curculionidae Entiminae, Pyralidae, Tenebrionidae, Geophilidae, Acaridae, Tineidae, Carabidae, Chironomidae y Platydesmidae, se encuentran en menor proporción pero de igual importancia para mantener el equilibrio dentro del ecosistema.

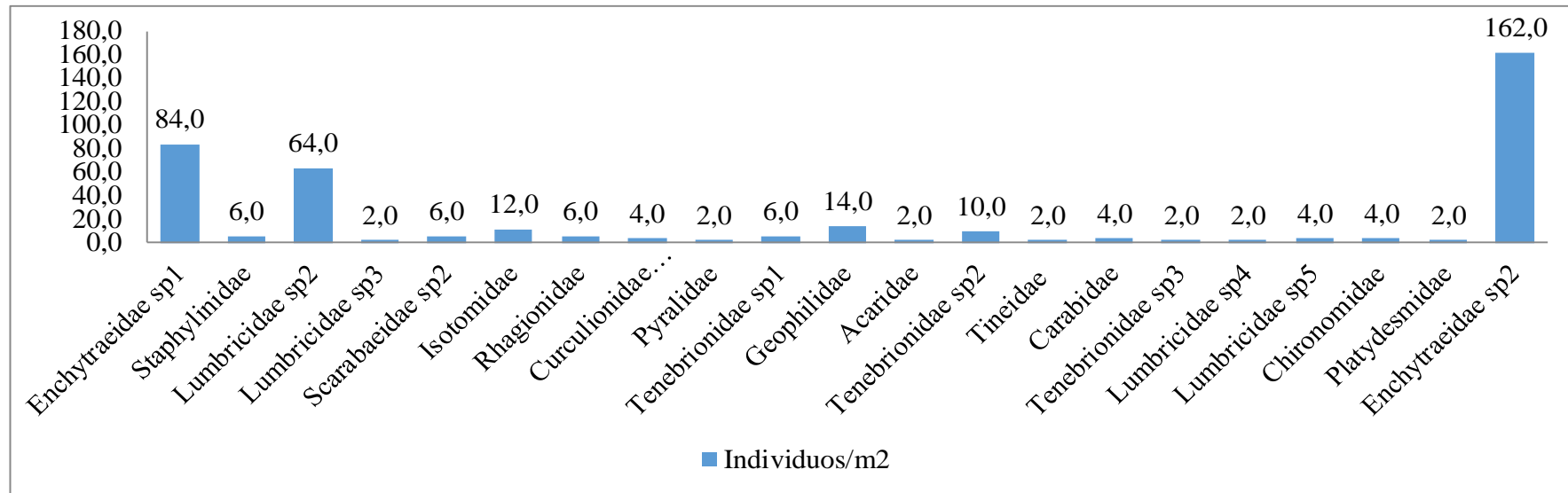


Figura 30. Densidad de la mesofauna en el Transecto 02.  
Elaborado por: María Elena Flores

La figura 31 muestra la distribución de la mesofauna en las cinco muestras analizadas del transecto 03, la misma que posee un valor medio de 852 individuos por metro cuadrado, el valor más alto corresponde a la familia Enchytraeidae con 288 y 228 individuos de diferente especie, el segundo valor más alto corresponde a la familia Chironomidae con 282 individuos, el restante de individuos pertenecientes a las familias: Dolichopodidae, Lumbricidae, Isotomidae, Pyralidae, Tenebrionidae, Geophilidae, Acaridae, Tipulidae, Trombidiidae, Rhinocricidae y Scarabaeidae, se encuentran en menor proporción pero de igual importancia para mantener el equilibrio dentro del ecosistema.

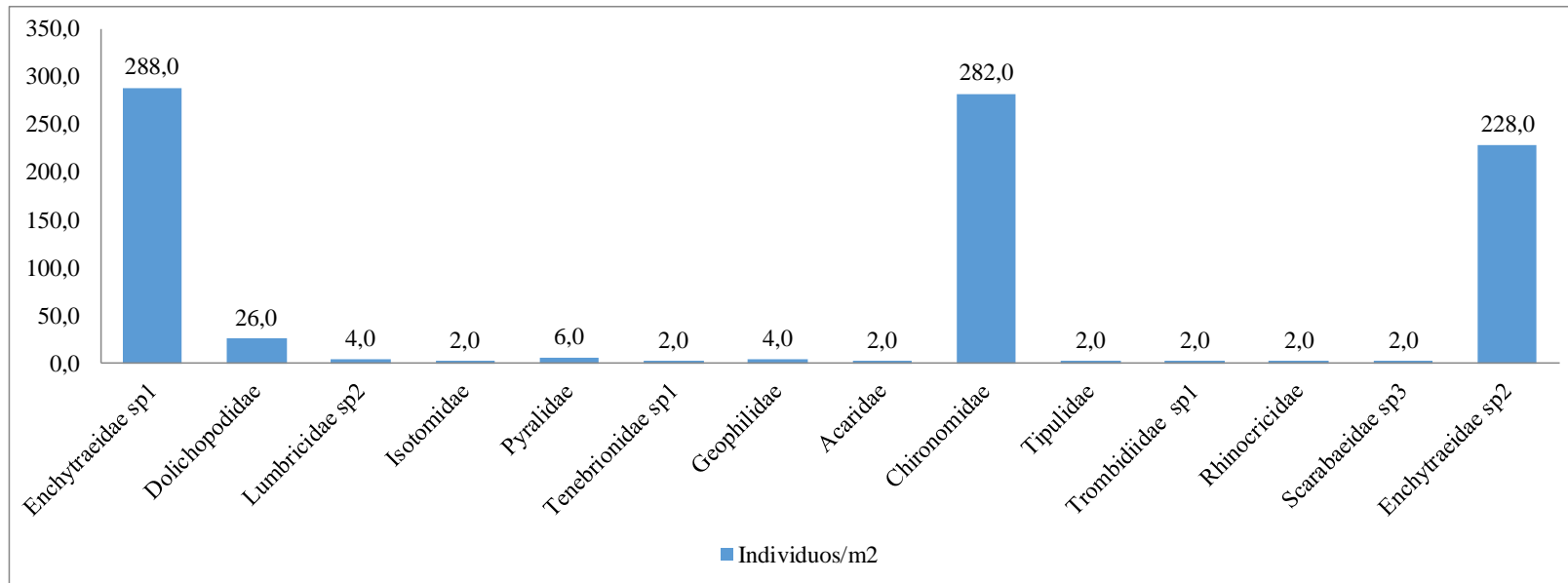


Figura 31. Densidad de la mesofauna en el Transecto 03.  
Elaborado por: María Elena Flores

La figura 32 muestra la distribución de la mesofauna en las cinco muestras analizadas del transecto 04, la misma que posee un valor medio de 1436 individuos por metro cuadrado, el valor más alto corresponde a la familia Enchytraeidae con 874 y 58 individuos de diferente especie, el segundo valor más alto corresponde a la familia Sciaridae con 146 individuos, mientras que los demás organismos se presentan con menor población, pero de igual relevancia ecológica.

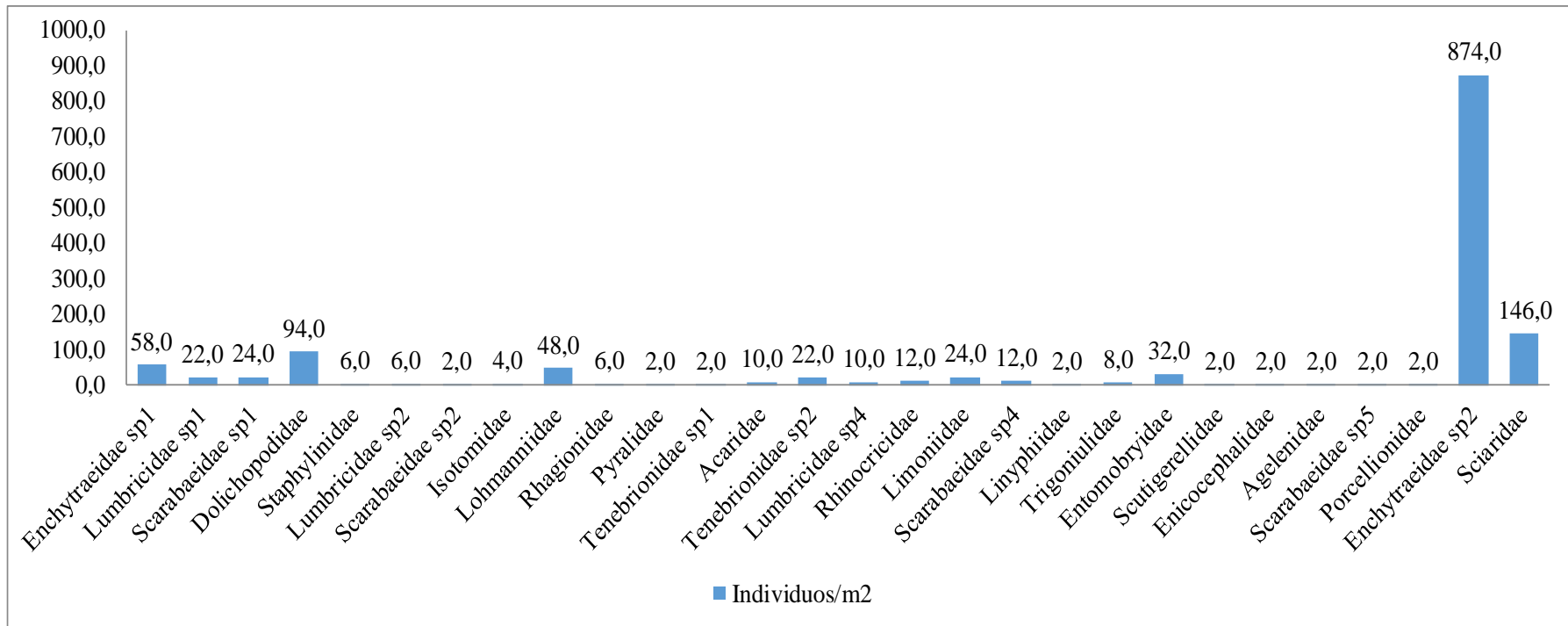


Figura 32. Densidad de la mesofauna en el Transecto 04.

Elaborado por: María Elena Flores

La figura 33 muestra la distribución de la mesofauna en las cinco muestras analizadas del transecto 05, la misma que posee un valor medio de 632 individuos por metro cuadrado, el valor más alto corresponde a la familia Enchytraeidae con 354 y 92 individuos de diferente especie, el segundo valor más alto corresponde a la familia Dolichopodidae con 58 individuos, mientras que los demás organismos se presentan con menor población, pero de igual relevancia ecológica.

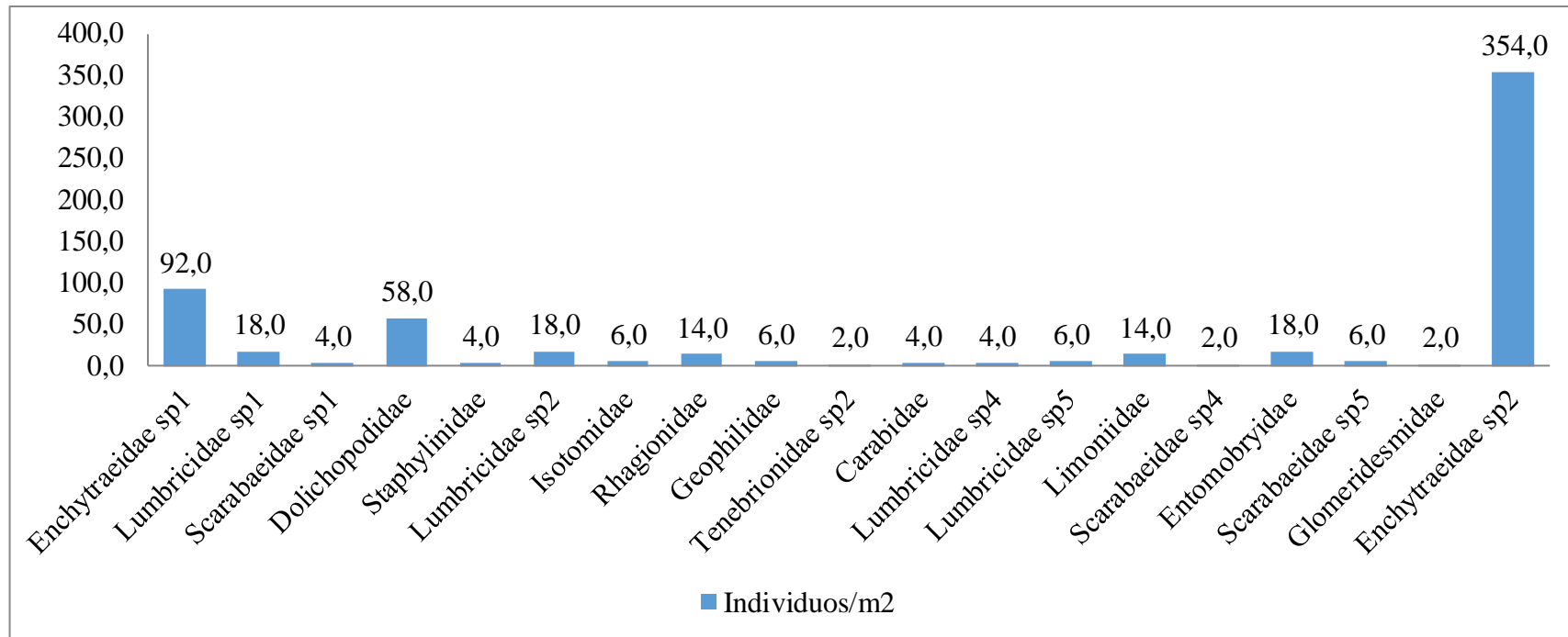


Figura 33. Densidad de la mesofauna en el Transecto 05.  
Elaborado por: María Elena Flores

La figura 34 muestra la distribución de la mesofauna en las cinco muestras analizadas del transecto 06, la misma que posee un valor medio de 374 individuos por metro cuadrado, el valor más alto corresponde a la familia Enchytraeidae con 108 y 36 individuos de diferente especie, el segundo valor más alto corresponde a la familia Dolichopodidae con 48 individuos, seguido de la familia Entomobryidae con 34 individuos por metro cuadrado, la familia Lohmanniidae con 32 individuos por metro cuadrado y la familia Geophilidae con 30 individuos por metro cuadrado, mientras que los demás organismos se presentan con menor población, pero de igual relevancia ecológica.

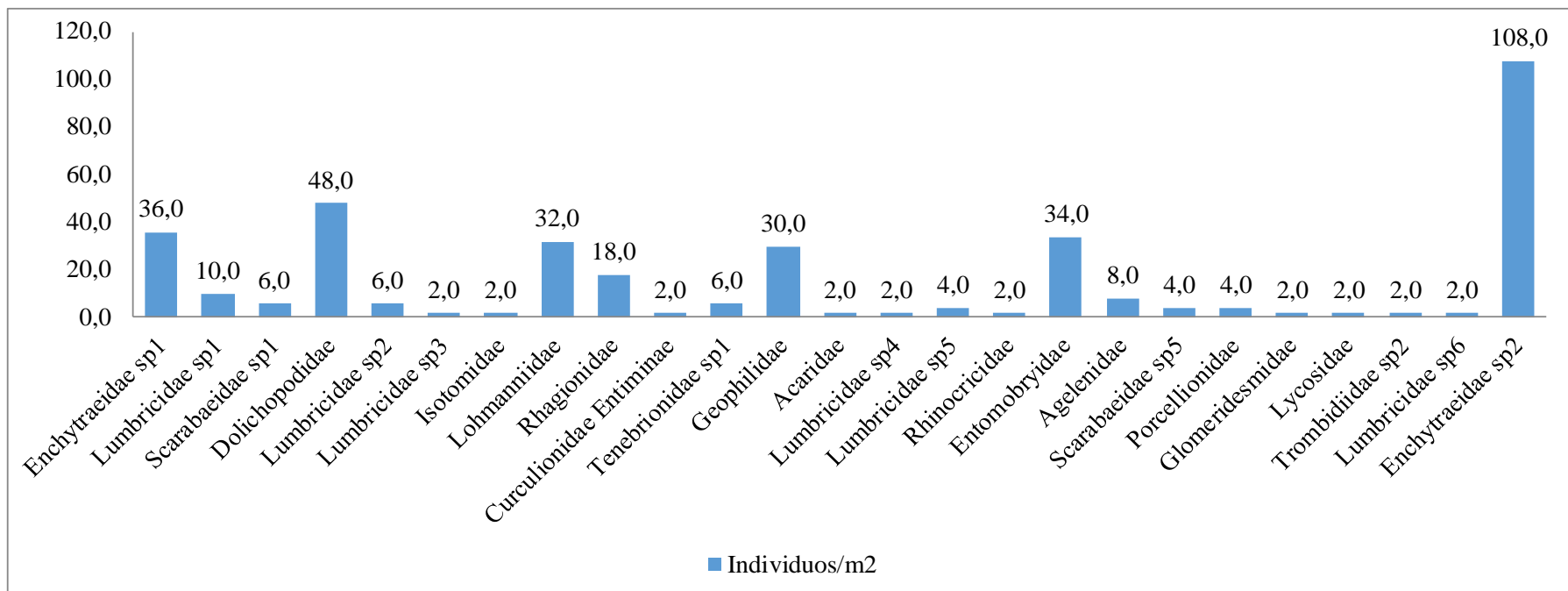


Figura 34. Densidad de la mesofauna en el Transecto 06.  
Elaborado por: María Elena Flores

### 3. ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD

Los grupos que integran la mesofauna edáfica son sensibles a las perturbaciones naturales y antrópicas del medio, las que provocan cambios en su composición específica y su abundancia, y ocasionan la pérdida de especies y de su diversidad, con la consiguiente disminución de la estabilidad y la fertilidad del suelo. (Scheu, 2002, como se citó en Socarrás, 2013, p.6)

Por ello la mesofauna edáfica es considerada como un buen indicador biológico de su estado de conservación, el número, la densidad y el balance de sus grupos permiten predecir y evaluar las transformaciones ocasionadas por la aplicación de diferentes métodos de producción agrícola en condiciones edafoclimáticas específicas, así como considerar integralmente el funcionamiento del ecosistema. (Socarrás, 2013, p.6)

**Tabla 26. Índices de biodiversidad**

Índices	Transecto_01	Transecto_02	Transecto_03	Transecto_04	Transecto_05	Transecto_06
<b>Margalef</b>	1,0956 (baja)	2,1537 (media)	1,0833 (baja)	2,6603 (media)	2,2506 (media)	2,6104 (media)
<b>Shannon</b>	1,1077 (baja)	1,5303 (baja)	0,8787 (baja)	1,5941 (baja)	1,5703 (baja)	1,8796 (baja)
<b>Dominancia</b>	0,3985 (media)	0,3126 (baja)	0,5526 (media)	0,3609 (media)	0,3227 (baja)	0,2347 (baja)
<b>Simpson</b>	0,6015 (media)	0,6874 (media)	0,4474 (media)	0,6391 (media)	0,6773 (media)	0,7653 (alta)
<b>Densidad/m<sup>2</sup></b>	308,0	400,0	852,0	1436,0	632,0	374,0
<b>Sorensen</b>	<b>Transecto 01 y 04</b>		<b>Transecto 02 y 05</b>		<b>Transecto 03 y 06</b>	
	0,513 (media)		0,55 (media)		0,462 (media)	

**Elaborado por:** María Elena Flores

El índice de biodiversidad de Margalef muestra una baja diversidad en los transectos 1 y 3; una diversidad media en los transectos restantes. El índice de Shannon expone que la diversidad es baja en todos los transectos. La dominancia es media en los transectos 1, 3 y 4, mientras que en los transectos 2, 5 y 6, la

dominancia es baja. El índice de Simpson muestra una diversidad media en todos los transectos a excepción del transecto 6, el cual muestra una diversidad alta. El índice de Sorensen indica que el número de especies en común encontradas en ambos usos de suelo es medio.

Ahora bien, el índice de Margalef indica que la relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos, es decir la diversidad de especies, para el suelo páramo es bajo, mientras que en el suelo de plantación esta relación es media.

El índice de Shannon, indica que el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar, en el suelo páramo y de plantación es baja.

En cuanto al índice de Simpson, el cual manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie, indica que en ambos usos de suelo es media y de igual manera la dominancia.

El índice de Sorensen, utilizado en el presente estudio para evaluar la relación de números de especies en común, indica una similitud media para ambos usos de suelo.



## CAPÍTULO IV

### 4. DISCUSIÓN

En este estudio se logró comparar indicadores físicos y químicos del suelo en dos usos de suelo, páramo y plantación de pino (*Pinus radiata*), presentes en la microcuenca del río Pomacocho.

En las tablas 20 y 21 se presentan los valores de los parámetros físicos y químicos respectivamente, evaluados en el suelo páramo y plantación de *Pinus radiata* de la microcuenca del río Pomacocho. En dichas tablas comparativas se observa que según los parámetros físicos del suelo (tabla 20), la textura, estructura, color y pedregosidad no varía en los usos de suelo, sin embargo, en el suelo de plantación se observa un aumento de la densidad aparente en un  $0,07\text{g/cm}^3$  y una disminución en el porcentaje de humedad con un 8,67.

Al aumentar la densidad aparente del suelo, disminuye la porosidad y con ello se modifica la estructura al no permitir la formación de agregados, influyendo todo en una disminución en la retención de humedad en el suelo. Esto se le atribuye al alto consumo de agua en el rápido crecimiento de árboles exóticos y también a que la hojarasca de pino tiene una baja capacidad de absorción, favoreciendo así la evaporación directa en la superficie. Así el agua que logra filtrarse al suelo es rápidamente integrada al sistema de evapotranspiración de la plantación (Cortés, Chamorro y Vega, 1990).

En cuanto a los parámetros químicos, la tabla 21 muestra que la materia orgánica en el suelo de plantación disminuye en un 0,67%, esto puede deberse a que las plantaciones de pino generan un microclima, lo que conlleva a un aumento de temperatura, lo contrario a lo que sucede en el páramo, puesto que la descomposición de la materia orgánica es muy baja a causa de las bajas temperaturas y la alta humedad, lo que quedó evidenciado con el 41,45 % de MO,

0,67 % mayor a la del suelo de plantación y con el contenido de humedad en el suelo páramo de 63,01%, evidenciando un 8,67 % mayor a la del suelo de plantación.

La presencia de MO en los páramos también se debe a que son suelos formados en cenizas volcánicas, por lo que los minerales en la ceniza forman complejos muy fuertes con la materia orgánica que inhiben la descomposición de ésta. La gran cantidad de materia orgánica puede adsorber agua por una suave carga eléctrica y por esto los suelos humíferos tienen una gran capacidad de retención de agua.

En otras palabras, existe un vínculo directo entre agua y materia orgánica: con mucha agua hay mucha materia orgánica (poca descomposición) y con mucha materia orgánica hay mucha agua (por adsorción). La MO está íntimamente relacionada con el Carbono, por tanto se observa una disminución de 0,39% del contenido de Carbono en el suelo de plantación, ya que en este ha disminuido la MO.

En cuanto al pH, una de las propiedades más importantes del estado químico del suelo, se observó que el pH del suelo de plantación ha reducido ligeramente en 0,2. Esto se le puede atribuir a las acículas de pino que son altamente ácidas, y éstas pueden bajar el pH de algunos suelos húmedos.

En relación a la conductividad eléctrica, el suelo de la plantación ha reducido en 1,08  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , esto se puede relacionar con el contenido de materia orgánica y la humedad del suelo, puesto que la materia orgánica juega un rol fundamental en el mantenimiento de las propiedades físicas del suelo, ya que está directamente relacionada con la acumulación de nutrientes y con la retención de agua, factores que poseen relación directa con la conductividad eléctrica.

También se aprecia, en la misma tabla, que al mantener el Ca, P y K una correlación fuerte, los valores para N, P, K y Ca, han disminuido en el suelo de plantación. Esto se puede asociar al requerimiento de nutrientes del árbol de *Pinus radiata*, con la

consecuente acidificación del suelo, ya que la extracción de nutrientes por las plantas contribuye a la acidificación del suelo (Porta, López – Acevedo y Poch, 2010). Lo anterior indica que el efecto que han tenido las plantaciones de pino sobre el suelo páramo, ha sido principalmente en la densidad aparente, humedad, materia orgánica, contenido de carbono, pH, conductividad eléctrica, N, P, K y Ca. Todo esto en cuanto a los parámetros físicos y químicos.

En cuanto a la mesofauna edáfica, los datos obtenidos muestran cambios en la diversidad. Para todos los transectos, la riqueza y abundancia fue mayor en el suelo de la plantación de pino en comparación al suelo páramo.

Este comportamiento indica, por una parte, que la introducción de los árboles en dichas unidades, lejos de ser considerado un agente perturbador de la estabilidad de estos sistemas, posibilita un incremento de los invertebrados al regular la temperatura.

Usando las interpretaciones de Magurran (1988), los índices calculados muestran que en las plantaciones de pino presentan una diversidad intermedia al igual que en el suelo de páramo, sin embargo, la dominancia es mayor en el suelo páramo que en el de plantación. En cuanto a la equidad, ambos usos de suelo muestran valores bajos.

La clase Clitellata, caracterizado por ser detritófagos, fueron más abundantes en el suelo de plantación, dominando la familia de enquitreidos. Seguidos de la clase Insecta, entre estos fitófagos, saprófagos y depredadores, siendo más abundante en el suelo de plantación.

Mateos (1992), presentó la relación Acari/Collembola, la cual es útil para determinar el grado de perturbación en las zonas afectadas. Cuando esta es favorable a los colémbolos, grupo indicador de la fertilidad y estabilidad del medio edáfico, se considera que el ecosistema está conservado y es estable; mientras que

si los más abundantes son los ácaros, habría que hacer un análisis de qué grupo de ácaros está dominando.

Por tanto, esta relación en el suelo de plantación se ve afectada puesto que mantienen valores similares, como se observa en la Figura 23, en tanto que en el suelo páramo, la clase Collembola triplica a la clase Acari. Por tanto se puede mencionar, que al ser esta relación considerada como un indicador de la calidad del suelo, el suelo de plantación, se encuentra alterado.

La clase Arachnida, se encuentra presente sólo en el suelo de la plantación, ya que estas son depredadoras, es evidente que en la plantación las arañas dispondrían de más de insectos voladores y arborícolas que de insectos en el suelo como alimento. La clase Chilopoda duplica el número de individuos en el suelo de plantación, al ser estas depredadoras dispondrían de mayor alimento en este uso de suelo. La clase Malacostraca (Isópodos terrestres), fitófagos y Symphyla, depredadoras, se encuentran presentes sólo en el suelo de la plantación.

En este estudio puede existir la probabilidad de que las especies lleguen a establecerse en parches de vegetación exótica dependiendo de qué tan cercanos estén estos de áreas de vegetación nativa similarmente estructuradas (Samways, Caldwell, & Osborn, 1996). También coinciden con este estudio al reportar una mayor participación de Isopoda y Araneae en plantaciones de pino Camero, Díaz, Salinas, Téllez y Agudelo (2005).

Generalmente todos los grupos taxonómicos de la mesofauna edáfica han sido propuestos como indicadores potenciales de la calidad del suelo, sin embargo, ninguna investigación puede pretender cubrir todos los grupos de organismos del suelo, y el grado al cual puede ser usado como “indicador”. En esta investigación se ha utilizado la relación Acari/Collembola, utilizada también en distintas investigaciones, puesto que han sido las clases encontradas en este estudio.

Las diferencias en rasgos estructurales del suelo como la densidad aparente, humedad, materia orgánica, contenido de carbono, pH, conductividad eléctrica, N, P, K y Ca, encontradas en este estudio, demostrarían que efectivamente la funcionalidad ecosistémica está siendo reducida debido a la plantación de pinos.

Por tanto, las plantaciones exóticas forestales alteran la dinámica y la estructura trófica de las comunidades del suelo, efectos que persisten a largo plazo.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

A través del programa ArcGis 10.2, el área de estudio fue zonificada, misma que posee una superficie de 200,15ha y en donde se establecieron seis transectos de 20m distribuidos de forma sistemática en ambos usos de suelo, tres de ellos en el área de páramo y los otros tres en el área de plantación. A su vez, con el método de muestreo del Programa de Biología y Fertilidad del Suelo Tropical, BFST (TSBF), se establecieron en cada transecto los cinco puntos de muestreo, obteniendo un total de 30 muestras de suelo de toda el área de estudio.

El análisis físico de las muestras incluyó el tipo de suelo, textura, estructura, color, pedregosidad, densidad aparente y el porcentaje de humedad. Los resultados determinaron que los siguientes parámetros no variaron en ambos usos de suelo: el suelo es de tipo Andosol, la textura es franco arcilloso, su estructura es granular, presenta una coloración 10YR- 2,5/1 (negro), y la pedregosidad es menor al 5%. Por el contrario, los valores para la densidad aparente y el porcentaje de humedad varían en ambos usos de suelo: la densidad aparente se diferenció con  $0,07\text{g/cm}^3$ , siendo mayor en el suelo de plantación con un valor de  $0,38\text{ g/cm}^3$ , así mismo, la humedad promedio se diferenció con 8,67%, siendo mayor en el suelo páramo con 63,01%.

Los resultados de los análisis químicos en ambos usos de suelo, demostraron que: el contenido de materia orgánica se diferenció con 0,67%, siendo mayor en el suelo páramo con un valor de 41,45%; el contenido de Carbono se diferenció con 0,39%, siendo mayor en el suelo páramo con un valor de 24,04%; el pH del suelo páramo fue moderadamente ácido con un valor de 5,6. y el del suelo de plantación

fuertemente ácido con un valor de 5,4; la conductividad eléctrica se diferenció con 1,08  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo mayor en el suelo páramo con un valor de 72,56  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; el Nitrógeno se diferenció con 15 ppm, siendo mayor en el suelo páramo con un valor de 71,67 ppm; el Fósforo se diferenció con 4,7 ppm, siendo mayor en el suelo páramo con un valor de 30,7 ppm; el Potasio se diferenció con 0,06 ppm, siendo mayor en el suelo páramo con un valor de 0,28 ppm y el Calcio se diferenció con 1,91 mg/L, siendo mayor en el suelo páramo con un valor de 4,64 mg/L.

Los resultados de la correlación lineal en toda el área de estudio sugirieron que al estar fuertemente relacionados, el Carbono, la conductividad eléctrica y el Nitrógeno, son un resultado del incremento de la materia orgánica, al igual que los incrementos del Calcio son correspondidos con incrementos de Fósforo y Potasio.

Los resultados de la correlación lineal entre en ambos usos de suelo indicaron que el pH, la materia orgánica, el contenido de carbono, la conductividad eléctrica, la humedad y la mesofauna edáfica poseen una correlación negativa muy fuerte, lo que indica que mientras en un uso de suelo aumentan los valores para cierta variable, en el otro uso de suelo reduce y viceversa. Sin embargo, los resultados de la correlación entre el Nitrógeno, el Fósforo y el Calcio de ambos usos de suelo, indicaron que la relación es muy fuerte positiva, lo que indica que los valores son directamente proporcionales.

En el análisis de la mesofauna edáfica se colectó un total de 2011 individuos, pertenecientes a 9 clases, 15 órdenes, 31 familias y 44 especies, de las cuales las más abundantes fueron de la clase Clitellata con 826 individuos en plantación y 545 individuos en páramo, seguido de la clase Insecta con 268 individuos en plantación y 207 en páramo, y a continuación Collembola con 48 individuos en plantación y 13 en páramo, seguido de Acari con 47 individuos en plantación y 4 en páramo, la clase Chilopoda mostró 18 individuos en plantación y 9 en páramo, seguido de la clase Diplopoda con 13 individuos en plantación y 2 en páramo; mientras que la clase Arachnida, Malacostraca y Symphyla estuvo presente solo en el suelo de plantación con 7, 3 y 1 individuos respectivamente.

En cuanto a los índices de biodiversidad, el índice de Margalef indicó que la diversidad de especies para el suelo páramo fue baja con un valor de 1,4442, en comparación a la del suelo de plantación que fue media con un valor de 2,5071. El índice de Shannon, indicó valores bajos para el suelo de páramo y plantación con valores de 1,1722 y 1,6813 respectivamente. El índice de Simpson, indicó valores bajos para el suelo de páramo y plantación con valores de 0,5788 y 0,6939 respectivamente. El índice de Sorensen indicó una similitud media para ambos usos de suelo con un valor de 0,5083.

Los cambios de uso de suelo, en los cuales las actividades antrópicas expresadas bajo el uso forestal del suelo (plantaciones de pino), están provocando alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas (mesofauna edáfica) del suelo páramo de la microcuenca del río Pomacocho. El efecto que han tenido las plantaciones de pino sobre el suelo páramo, ha sido principalmente en la densidad aparente, humedad, materia orgánica, contenido de carbono, pH, conductividad eléctrica, N, P, K y Ca.

La relación Acari/Collembola, utilizada como indicador de la calidad del suelo, se ve afectada en el suelo de plantación puesto que mantienen valores similares, mientras que en el suelo páramo, la clase Collembola triplica a la clase Acari. Por tanto, las plantaciones de pino alteran la dinámica y la estructura trófica de las comunidades del suelo, efectos que persisten a largo plazo. Sin embargo, este estudio no puede ser generalizado.

Se propuso un plan de Manejo de páramos, el cual servirá como guía para el correcto uso del ecosistema páramo y para mitigar el impacto producido por las plantaciones de pino en el suelo páramo.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Es pertinente utilizar equipos que permitan realizar análisis in situ, para obtener datos más fiables.



Considerar como factor de estudio, la edad de los árboles que conforman la plantación, así como también las profundidades en la toma de muestras.

Profundizar el estudio en grupos funcionales dentro de los niveles tróficos, y determinar cómo se ve afectada la eficiencia de los procesos biológicos por causa de las plantaciones de pino en el suelo páramo.

Considerar la proximidad de los transectos, la movilidad de los individuos y las estaciones del año.

Antes de realizar una reforestación o forestación con especies exóticas como el pino, es necesario realizar una evaluación detallada de las áreas disponibles para las actividades forestales, basada en estudios de viabilidad ecológica y económica.

El establecimiento de plantaciones de pino incluye un riesgo de disminución de la humedad del suelo, el contenido de MO, y la diversidad de especies vegetales. Por lo tanto, el establecimiento de plantaciones debe evitarse hasta que se obtenga un mayor conocimiento sobre los efectos en el ecosistema en su conjunto.

Los planes forestales deben evaluarse caso por caso, teniendo en cuenta no sólo la calidad del sitio para la producción de árboles exóticos, sino también los posibles efectos sobre los ecosistemas, así como la condición socioeconómica de la región.

Las plantaciones de pino deben ser consideradas como un cultivo agrícola relativamente bajo impacto. En una zonificación más detallada, áreas limitadas podrían ser diseñados para la producción de madera, teniendo en cuenta la demanda y el mercado local, y otras áreas más naturales podrían estar protegidas para asegurar la función hidrológica de este ecosistema. A largo plazo, el valor hidrológico del ecosistema podría ser económicamente más importante que los beneficios de la madera.

El desarrollo de técnicas forestales integradas, incluyendo especies de árboles nativos, probablemente reducirían los posibles efectos negativos en los ecosistemas

andinos y podrían constituirse en una alternativa sostenible a las plantaciones masivas de especies exóticas en el futuro.

## **CAPÍTULO VI**

## **6. PROPUESTA**

En este capítulo se propone un plan el cual está constituido por diferentes acciones establecidas en un orden lógico, las cuales a su vez, proponen un conjunto de actividades que tienen como objetivo general guiar el uso del ecosistema y mitigar el impacto causado en el suelo páramo.

### **PLAN DE MANEJO DE PÁRAMOS**

La formulación del plan de manejo de páramos a más de estar basado en las leyes ambientales del Ecuador y en las políticas y lineamientos que se encuentran establecidos en la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) y su nueva formulación del Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 – 2017, debe estar orientado a la Ordenanza de la conservación y manejo sustentable de los páramos de la provincia de Chimborazo, en vigencia desde el año 2009.

#### **6.1. LEYES AMBIENTALES**

Para efectos de la “Ley para la Conservación y Usos sustentable de la Biodiversidad”, se entiende por páramo el ecosistema tropical alto andino que se extiende e los Andes Septentrionales, entre el actual o potencial límite superior del bosque andino cerrado y la línea de nieve perpetua, caracterizado por una vegetación dominante no arbórea, que incluye los fragmentos de bosque nativo propio de este ecosistema y que al norte del paralelo 3°00´ de latitud sur se encuentra sobre los 3.500 metros sobre el nivel del mar, y que al sur de este paralelo sobre los 3.000 metros sobre el nivel del mar. Son áreas de importancia hidrológica y su uso es restringido favoreciéndose actividades de subsistencia, conservación o recuperación.

#### **Sección II**

#### **De los Ecosistemas Frágiles**

**Artículo 40.-** Los ecosistemas frágiles son aquellos que por sus condiciones biofísicas, culturales, nivel de amenaza o por interés público, deben ser objeto de un manejo particularizado y son declarados como tales por el Ministerio del Ambiente, de oficio o a petición de parte interesada.

Las normas para la creación, selección, declaratoria y manejo de los ecosistemas frágiles serán establecidas en el reglamento, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley, y sin perjuicio de las competencias y atribuciones consagradas en otras leyes. Estos ecosistemas frágiles podrán estar ubicados en tierras públicas, privadas o comunitarias, y comprenden, total o parcialmente, una o varias de las siguientes:

- a) Manglares y otros humedales establecidos como tales en la Convención de RAMSAR;
- b) Páramos; y,
- c) Bosques secos, bosques nublados y de garúa.

**Artículo 45.-** El Ministerio del Ambiente normará y promoverá la conservación y manejo sustentable de los páramos y sus recursos naturales, de conformidad con el Reglamento General de Aplicación de la presente Ley.

**Artículo 46.-** Se prohíbe el establecimiento de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en bosques nativos, humedales y zonas de vegetación nativa, independientemente del estado de intervención en que se encuentren o si contienen o no especies de fauna y flora en peligro de extinción, conforme a los listados oficiales.

En los páramos que mantengan su cobertura nativa original, no se podrá forestar o establecer nuevos sistemas agroforestales sobre los 3.500 metros sobre el nivel del mar, al norte del paralelo 3° 00' de latitud sur, y sobre los 3.000 metros sobre el nivel del mar, al sur de este paralelo.

Se exceptúan de esta disposición las plantaciones forestales y sistemas agroforestales con especies nativas realizadas por las comunidades con fines de subsistencia, considerando para este efecto una superficie máxima de una hectárea por familia, y las plantaciones forestales con especies nativas realizadas con fines de protección en áreas degradadas.

## **6.2. POLÍTICAS Y LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS**

Las políticas y lineamientos estratégicos se enmarcan al Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 – 2017, específicamente en el objetivo 7, el cual menciona “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.” Las políticas y lineamientos estratégicos son los siguientes:

**7.1.** Asegurar la promoción, la vigencia y la plena exigibilidad de los derechos de la naturaleza.

- ✓ d. Promover una cultura biocéntrica de respeto a los derechos de la naturaleza con énfasis en animales en condición de vulnerabilidad, promoviendo el trato humanitario a la fauna urbana y rural, la capacitación y la educación permanente, y la aplicación de mecanismos jurídicos locales y nacionales para su protección.

**7.2.** Conocer, valorar, conservar y manejar sustentablemente el patrimonio natural y su biodiversidad terrestre, acuática continental, marina y costera, con el acceso justo y equitativo a sus beneficios.

- ✓ c. Desarrollar mecanismos integrales de prevención, monitoreo, control y/o erradicación de especies invasoras, para precautelar la salud pública y la protección de los ecosistemas y su biodiversidad, particularmente de las especies nativas, endémicas y en peligro de extinción.

- ✓ k. Promover el acceso a fondos nacionales e internacionales para el financiamiento de la conservación del patrimonio natural, mediante programas integrales y ambiciosos.
- ✓ j. Impulsar incentivos y tecnología apropiada para la conservación de la naturaleza, sus bosques, zonas de nacimiento y recarga de agua y otros ecosistemas frágiles, enfocados en particular en las comunidades y los individuos más dependientes del patrimonio natural para su sobrevivencia.

### 7.3. Consolidar la gestión sostenible de los bosques, enmarcada en el modelo de gobernanza forestal

- ✓ a. Desarrollar actividades de forestación, reforestación y revegetación con especies nativas y adaptadas a las zonas afectadas por procesos de deforestación, degradación, fragmentación, erosión, desertificación e incendios forestales.
- ✓ d. Fortalecer los mecanismos jurídicos e institucionales que promueven la conservación, protección y producción forestal sustentable, especialmente con especies nativas, para contrarrestar procesos de deforestación, degradación, fragmentación, erosión, desertificación e incendios forestales.
- ✓ f. Fortalecer el sistema de información forestal y promover la investigación para identificar y cuantificar el patrimonio forestal como base para la toma de decisiones respecto a su conservación y manejo.

### **6.3. Ordenanza de la provincia de Chimborazo: Gestión Ambiental; conservación y manejo sustentable de los páramos.**

**Artículo 1.-** El Consejo Provincial de Chimborazo, contribuirá a la conservación, recuperación y manejo de los ecosistemas, en especial los páramos de la provincia, a fin de garantizar el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

**Artículo 9.-** El consejo provincial, concertadamente con los pobladores locales planificará y desarrollará actividades de manejo de los páramos de la Provincia,

tomando en cuenta sus funciones ecosistémicas, sociales, económicas, culturales, espirituales, promoviendo el manejo comunitario.

**Artículo 11.-** En base al Plan de Gestión Ambiental Provincial, previsto en este instrumento, el Consejo Provincial creará regímenes especiales para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias y silvopastoriles en los páramos de la Provincia, con el objetivo de restringir u controlar actividades contrarias a la conservación y uso sustentable de recursos naturales.

#### **6.4. FORMULACIÓN DE ACCIONES PARA LA MICROCUENCA**

El estudio realizado en la microcuenca del río Pomacocho identificó que las plantaciones de pino están provocando alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas (mesofauna edáfica). Identificando una reducción en el suelo de plantación en los valores de la densidad aparente, humedad, materia orgánica, contenido de carbono, pH, conductividad eléctrica, N, P, K y Ca.

En base a la relación, Acari/Collembola, se demostró que las plantaciones de pino alteran la dinámica y la estructura trófica de las comunidades del suelo.

Por tanto, al haber identificado los problemas que genera el cambio de uso de suelo de páramo a plantación y siguiendo las leyes para la Conservación y Usos sustentable de la Biodiversidad, políticas y lineamientos estratégicos establecidos en el Objetivo 7 del Nuevo Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 – 2017, se establecen las siguientes acciones y actividades.

##### ***6.4.1. PARTICIPACIÓN CIUDADANA PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN***

###### **a. Objetivo**

Vincular a la sociedad con el páramo a lo largo de todo el plan, desde una mirada ética hacia la educación ambiental, investigación y la cultura.

## **b. Lineamiento**

Fortalecer el sistema de información forestal y promover la investigación para identificar y cuantificar el patrimonio forestal como base para la toma de decisiones respecto a su conservación y manejo.

## **c. Actividades**

**Levantamiento de información secundaria.-** se recopilará la información acerca de los antecedentes históricos de uso y tenencia de la tierra de la zona a intervenir, esto apoyará información de la problemática y el estado de ésta.

**Caracterización de la fauna y flora del ecosistema de páramo.-** esta actividad tiene como finalidad entender la dinámica ecológica, lo que servirá para conocer el ecosistema priorizando una lógica ecológica.

**Realización de encuestas socio-ambientales.-** trata sobre la indagación con entrevistas estructuradas sobre la comunidad y moradores aledaños de la zona a intervenir, sobre su percepción de los páramos y el cuidado ambiental, la plantación de los pinos y sus efectos.

## **d. Actores**

MAE, Consejo Provincial, UNACH, Tesistas, voluntarios, Gobierno Municipal del Cantón Alausí, Comunidad de Pomacocho.

### ***6.4.2. EDUCACIÓN AMBIENTAL***

#### **a. Objetivo**

Priorizar un vínculo entre los estudiantes de la zona a intervenir y el páramo, basado en valores ecológicos y culturales.



## **b. Lineamiento**

Promover una cultura biocéntrica de respeto a los derechos de la naturaleza con énfasis en animales en condición de vulnerabilidad, promoviendo el trato humanitario a la fauna urbana y rural, la capacitación y la educación permanente, y la aplicación de mecanismos jurídicos locales y nacionales para su protección.

## **c. Actividades**

**Visitas de la población al área en restauración.-** el principal objetivo de es entender las debilidades y fortalezas del páramo visualizadas in situ.

**Realización de talleres de sensibilización.-** después de una visita de campo, se pretende generar conciencia en las personas directamente involucradas con la zona a intervenir, a través de trabajos en campo, foros participativos y creación de manuales didácticos acerca de la visión del páramo, uso, y conservación.

**Comunicación integral.-** esta actividad tiene como finalidad consolidar y facilitar el proceso de sensibilización y concienciación, realizada a través de ruedas de prensa, campañas de comunicación y actualizaciones mensuales de información en portales web disponibles para todo público.

## **d. Actores**

MAE, Consejo Provincial, UNACH, Tesistas, voluntarios, Gobierno Municipal del Cantón Alausí, Comunidad de Pomacocho.

### **6.4.3. GESTIÓN ECONÓMICA**

#### **a. Objetivo**

Gestionar adecuadamente los recursos económicos

### **b. Lineamiento**

Promover el acceso a fondos nacionales e internacionales para el financiamiento de la conservación del patrimonio natural, mediante programas integrales y ambiciosos.

### **c. Actividades**

**Generación de alianzas económicas.-** en esta actividad se generarán estrategias para acceder a recursos económicos destinados a la conservación del ecosistema, entre estos, diversos proyectos del país, entre ellos el proyecto Socio bosque -el cual incluye un capítulo sobre páramos-, Foragua, etc.

**Generación de alianzas científicas con universidades e institutos.-** esta actividad implica la participación de estudiantes y profesores de la Universidad Nacional de Chimborazo en el proceso de creación de conocimiento sobre el páramo y su difusión. Se requieren investigaciones con aplicación en conservación para llevar a cabo prácticas coherentes con la forma de funcionamiento y estructura del páramo.

### **d. Actores**

MAE, Consejo Provincial, UNACH, Tesistas, voluntarios, Gobierno Municipal del Cantón Alausí, Comunidad de Pomacocho.

## ***6.4.4. CREACIÓN DE INFRAESTRUCTURA***

### **a. Objetivo**

Generar lugares de trabajo en el cual se incluya material necesario para la rehabilitación y regeneración de las zonas deterioradas.

## **b. Lineamiento**

Impulsar incentivos y tecnología apropiada para la conservación de la naturaleza, sus bosques, zonas de nacimiento y recarga de agua y otros ecosistemas frágiles, enfocados en particular en las comunidades y los individuos más dependientes del patrimonio natural para su sobrevivencia.

## **c. Actividades**

**Creación de un centro de acciones ambientales.-** el propósito de esta actividad es formar un lugar de trabajo donde se generen propuestas de acción, en el que se reúna la información obtenida y los trabajos realizados y donde se haga un seguimiento activo de la evolución del plan.

**Construcción de vivero.-** es imprescindible disponer de un lugar donde germinen y crezcan las plantas nativas de la zona que serán introducidas finalmente.

**Construcción de una compostera.-** la finalidad de esta actividad es producir el compost suficiente para enriquecer el suelo de la futura plantación con plantas nativas y también ofertar a los agricultores que lo requieran.

## **d. Actores**

MAE, Consejo Provincial, UNACH, Tesistas, voluntarios, Gobierno Municipal del Cantón Alausí, Comunidad de Pomacocha, estudiantes de las diferentes unidades educativas.

### **6.4.5. TALA DE PINUS RADIATA**

#### **a. Objetivo**

Extraer las plantaciones de pino de una manera amigable con el ambiente.

### **b. Lineamiento**

Desarrollar mecanismos integrales de prevención, monitoreo, control y/o erradicación de especies invasoras, para precautelar la salud pública y la protección de los ecosistemas y su biodiversidad, particularmente de las especies nativas, endémicas y en peligro de extinción.

### **c. Actividades**

**Generación de Proyectos de Investigación.-** en esta actividad se determinarán estudios que evidencien el deterioro del páramo causado por las plantaciones de pino, realizado por los Tesistas de la Universidad Nacional de Chimborazo.

**Extracción de los árboles de pino.-** esta actividad se realizará con medidas no invasivas o destructivas ni para la vegetación autóctona ni para el suelo, y será llevada a cabo por un particular o empresa local. Además se eliminarán manualmente las nuevas plantas de pino que crezcan en esta zona.

### **d. Actores**

MAE, Consejo Provincial, Gobierno Municipal del Cantón Alausí y Comunidad de Pomacocho.

## ***6.4.6. REHABILITACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO***

### **a. Objetivo**

Reestablecer la cobertura vegetal de especies nativas en las zonas que han sufrido la extracción de los árboles de pino.

## **b. Lineamiento**

Desarrollar actividades de forestación, reforestación y revegetación con especies nativas y adaptadas a las zonas afectadas por procesos de deforestación, degradación, fragmentación, erosión, desertificación e incendios forestales.

## **c. Actividades**

**Reintroducción de especies nativas.-** para realizar esta actividad es preciso realizar experimentos de propagación, germinación y crecimiento en el vivero. Dependiendo de los resultados obtenidos, se utilizarán diferentes técnicas para reintroducir estas especies en el páramo.

**Generación de Proyectos de Investigación.-** en esta actividad se determinarán estudios que evidencien la recuperación del suelo páramo, realizado por los Tesistas de la Universidad Nacional de Chimborazo.

## **d. Actores**

MAE, Consejo Provincial, UNACH, Tesistas, voluntarios, Gobierno Municipal del Cantón Alausí, Comunidad de Pomacocho, estudiantes de las diferentes unidades educativas.

### **6.4.7. SOCIALIZACIÓN**

#### **a. Objetivo**

Establecer una red de información y experiencias en conservación, manejo sostenible y restauración de páramos

### **b. Lineamiento**

Fortalecer los mecanismos jurídicos e institucionales que promueven la conservación, protección y producción forestal sustentable, especialmente con especies nativas, para contrarrestar procesos de deforestación, degradación, fragmentación, erosión, desertificación e incendios forestales.

### **c. Actividades**

**Transferencia de conocimientos.-** en esta actividad se mostrará el impacto que el plan ha tenido en el ecosistema, educación, sociedad y cultura de la población de la zona.

**Comunicación integral.-** esta actividad tiene como finalidad facilitar el proceso de la transferencia de información sobre las experiencias, resultados obtenidos y evaluación, realizada a través de ruedas de prensa, campañas de comunicación y portales web disponibles para todo público.

### **d. Actores**

MAE, Consejo Provincial, UNACH, Gobierno Municipal del Cantón Alausí.

## **CAPÍTULO VII**

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Calderón, V., Hernández Fonseca, V., y Hernández Gamboa, J. (2005). Catálogo de garrapatas suaves (Acari: Argasidae) y duras (Acari:).
- Alvarez M., J., Rodriguez S., J., y Suarez F., D. (1999). Mejoramiento de la productividad de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, a través de un método racional de fertilización. *BOSQUE*, 23-36.
- Arango Gutiérrez, G., y Vásquez Villegas, E. (s/f). *Revista Lasallista de Investigación - VOL - 1 No. 1*. Obtenido de Los coleópteros y el compost: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/196/1/093-95%20Los%20cole%C3%B3pteros%20y%20el%20compost.pdf>
- Arcos, F. (2008). *Estudio de la Agroquímica del suelo*. Riobamba, Ecuador.
- Brady, B. (1993). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Hispano América México D.F.
- Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J., Bueno, J., . . . Rodríguez, C. (2001). DIVERSIDAD Y ROL FUNCIONAL DE LA MACROFAUNA EDÁFICA EN LOS ECOSISTEMAS TROPICALES MEXICANOS. *Biología de Suelos*.
- Cabrera Dávila, G., Socarrás Rivero, A., y Hernández Vigoa, G. (2015). *Fauna edáfica: Composición e importancia funcional en la conservación y mejoramiento de los suelos*. Obtenido de Instituto de Ecología y Sistemática: <http://www.rufford.org/files/Soil%20Fauna%20Pamphlet.pdf>
- Camero, E., Díaz, J., Salinas, A., Téllez, L., y Agudelo, D. (2005). Estudio de la artropofauna asociada a suelos de dos tipos de ecosistema en la cuenca del Río Cauca-Colombia. *Acta Biol.*

- Campillo, R., y Sadzawka, A. (2015). *La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados*. Obtenido de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33853.pdf>
- Carrasco Merchán, S., y Guzmán Cárdenas, S. (2011). Influencia del uso del suelo, en la pedofauna y flora de los páramos de la zona del Irquis Azuay - Ecuador. *Tesis de grado*. Cuenca, Ecuador.
- Casanova Olivo, E. F. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. (C. UCV, Ed.) Caracas, Venezuela.
- Chacón, V., Gagnon, D., Paré, D., y Proulx, D. (2003). *Impacto de la deforestación, Pastizales, plantaciones de eucalipto y pino en suelos de Bosque Montano Alto, en la Sierra sur del Ecuador*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Gustavo\\_Chacón3/publication/260123398\\_Impacto\\_de\\_la\\_deforestacion\\_plantaciones\\_de\\_Eucalipto\\_y\\_Pino\\_Revista\\_de\\_Investigaciones\\_de\\_la\\_Universidad\\_del\\_Azuay\\_No\\_11/links/00b7d52fa51f4886c5000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gustavo_Chacón3/publication/260123398_Impacto_de_la_deforestacion_plantaciones_de_Eucalipto_y_Pino_Revista_de_Investigaciones_de_la_Universidad_del_Azuay_No_11/links/00b7d52fa51f4886c5000000.pdf)
- Chamorro Bello, C. (2001). El Suelo: Maravilloso teatro de la vida. En *Ciencias de la Tierra*.
- Cock, J., Álvarez, D., y Estrada, M. (2010). *Rapid Soil and Terrain Assessment*. Recuperado el 2016, de Guía Práctica para la Caracterización del Suelo y del Terreno: [http://www.aclimatecolombia.org/download/agricultura-portal/rasta-2011-121116071713-phpapp02\(2\).pdf](http://www.aclimatecolombia.org/download/agricultura-portal/rasta-2011-121116071713-phpapp02(2).pdf)
- Cortés, A., Chamorro, C., y Vega, A. (1990). Cambio en el suelo por la implantación de praderas, coníferas y eucaliptos en un área aledaña al Embalse del Neusa (Páramo de Guerrero, Cundinamarca, Colombia.). *IGAC, Investigaciones*, 2: 100 - 114.



Crosara, A. (2015). *Estructura del Suelo*. Obtenido de <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%204.pdf>

Cruz, A., Barra, J., Castillo, R., y Gutiérrez, C. (2004). *La calidad del suelo y sus indicadores*. Obtenido de Ecosistemas: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54013210>

de Camino Velozo, R., y Müller, S. (1997). *Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: indicadores para la agricultura y los recursos naturales*. (1. Bib. Orton IICA / CATIE, Ed.) San José, Costa Rica.

Ecuador Forestal. (2015). *ecuadorforestal.org*. Obtenido de <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-13-pino-pinus-radiata/>

FAO. (1993). *Forest resources assessment 1990*. Rome: Foresty Paper.

FAO. (2014). *fao.org*. Obtenido de Estructura del suelo: [ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO\\_training/FAO\\_training/general/x6706s/x6706s07.htm#top](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s07.htm#top)

FAO. (2014). *fao.org*. Obtenido de Textura del suelo: [ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO\\_training/FAO\\_training/general/x6706s/x6706s06.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s06.htm)

FAO. (2016). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Definiciones*. *Fao.org*. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

Fassbender, H. (1975). *QUÍMICA DE SUELOS con énfasis en suelos de América Latina* (Primera ed.). (M. d. Cruz, Ed.) Turrialba, Costa Rica: IICA.

- Francke, O. (21 de Enero de 2015). Biodiversidad de Arthropoda (Chelicerata: Arachnida ex Acari) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85.
- Garavito, F. (1979). Propiedades químicas de los suelos. En *El Potasio en el suelo* (2a. ed.). Bogotá, Colombia.
- Hofstede, R., Segarra, P., y Mena Vásconez, P. (Edits.). (2003). *Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos* (Global Peatland Initiative/NC-IUCN/ Ecociencia ed.). Quito.
- Ibrahima, A., R. Joffre, y D. Gillon. (1995). Changes in litter during the initial leaching phase: An experiment on the leaf litter of Mediterranean species. *Soil Biol*, 27: 931-939.
- Jiménez, J., Decaëns, T., Thomas, R., y Lavelle, P. (2003). La Macrofauna del Suelo: Un Recurso Natural Aprovechable pero Poco Conocido . En *Las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas netropicales de Colombia*.
- Kass, D. (2002). *Fertilidad de Suelos*. (J. Núñez, Ed.) Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED).
- Kattan, G., Correa, D., Escobar, F., y Medina, C. (2006). Leaf-litter arthropods in restored forests in the Colombian Andes: A comparison between secondary forest and tree plantations. *Restor. Ecol*.
- Magurran, E. (1988). *Ecological Diversity and its Measurement*. New Jersey: Princeton University Press.
- Manahan, S. (2006). *Introducción a la Química Ambiental*. (Reverte, Ed., y I. Mora, Trad.) México: REVERTÉ, S.A.

- Mateos, E. (1992). Colémbolos (Collembola:Insecta) edáficos de encinares de la Serra de l'Ova y de la Serra de Prades (Sierra prelitoral catalana). Efecto de los incendios forestales sobre estos artrópodos (inédito). *Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, Facultad de Biología, Dpto. de Biología Animal.* Barcelona, España.
- Medina, G., y Mena Vásconez, P. (2001). Los Páramos en el Ecuador. *Los páramos del Ecuador.*
- Medina, G., Josse, C., y Mena, P. (2000). *La Forestación en los Páramos. Serie Páramo 6. GTP/Abya Yala. Quito.* Obtenido de [http://www.ecociencia.org/archivos/paramo\\_GTP06-091128.pdf](http://www.ecociencia.org/archivos/paramo_GTP06-091128.pdf)
- Mena Vásconez. (2002). *Las áreas protegidas de los Páramos.* Quito: Abya Yala.
- Mena Vásconez, y Hofstede, R. (2006). *Los páramos ecuatorianos.* Obtenido de Botánica Económica de los Andes Centrales: <http://beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2006.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2012). Manual de campo. *Programa de las Naciones Unidas para la Reducción de las Emisiones por Deforestación y Degradación del Bosque en los Países en Desarrollo.*
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para muestreo de suelos.* Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
- Momo, F., y Falco, L. (2016). *LA MESOFAUNA DEL SUELO. BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA* . Obtenido de Biology and ecology of the soil mesofauna : [http://www.ungs.edu.ar/ms\\_ici/wp-content/uploads/2015/11/mesofauna-del-suelo-Momo-Falco.pdf](http://www.ungs.edu.ar/ms_ici/wp-content/uploads/2015/11/mesofauna-del-suelo-Momo-Falco.pdf)

- Montero Saiz, J. (2011). *Estudios de la estructura de las comunidades*. Obtenido de <https://jesusmsaiz.wordpress.com/2011/05/30/estudios-de-la-estructura-de-las-comunidades/>
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. MyT–Manuales y Tesis SEA* (Vol. 1). Zaragoza.
- Morris, A. (1997). *Afforestation projects in highland Ecuador: patterns of success and failure. Mountain Research and Development*.
- Ortega, C., y Saavedra, M. (diciembre de 2013). PROPUESTA DE UN PLAN PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO POMACOCHO, CANTON ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO. *PROYECTO DE GRADO*. Sangolquí, Ecuador.
- Porta Casanellas, J., López-Acevedo, M., y Poch Claret, R. (2014). *Edafología: uso y protección de suelos* (Tercera ed.). (M.-P. Libros, Ed.) Madrid, España.
- Porta, J., López - Acevedo, M., y Poch, R. (2010). *Introducción a la Edafología: Usos y protección de suelos*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Rojas, J. (2015). *Centro Regional Chaco Formosa. Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña*. Recuperado el 2016, de Densidad aparente: Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-\\_densidad\\_aparente.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf)
- Samways, M., Caldwell, P., y Osborn, R. (1996). Ground-living invertebrate assemblages in native, planted and invasive vegetation in South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* .

- Sepúlveda, T. V., Velasco Trejo, J., y de la Rosa Pérez, D. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación* (Ilustrada ed.). (I. N. Ecología, Ed.)
- Socarrás, A. (enero - marzo de 2013). Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes*, 36.
- Sonco Suri, R. (2013). Estudio de la diversidad Alfa (y Beta en tres localidades de un bosque montano en la región de Madidi, La Paz - Bolivia. *Tesis de Grado*. La Paz, Bolivia.
- Stern, M. (1995). An inter- Andean forest relict: vegetation change on Pasochoa volcano, Ecuador. *Mountain Research and Development*, 339-348.
- Swift, M., Bignell, D., Moreira, F., y Huisin, E. (s/f). El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: conceptos y guía general. En *Manual de biología de suelos tropicales*.
- Taxateca.com*. (22 de junio de 2016). Obtenido de <http://www.taxateca.com/ordenhaplotaxida.html>
- Thompson , L., y Troeh, F. (2002). *Los suelos y su fertilidad* (Cuarta ed.). Barcelona, España: REVERTÉ.
- Tierra Incognita. (2000). Obtenido de <http://www.terraecuador.net/revista%2010/Pinus>
- Tolrá, M., y Andersen, H. (30 de junio de 2015). *Revista IDE@ - SEA*. Obtenido de Ibero Diversidad Entomológica @ccesible: [http://www.sea-entomologia.org/IDE@/revista\\_63.pdf](http://www.sea-entomologia.org/IDE@/revista_63.pdf)

UNEP. (1992). Convention on biological diversity. . *United Nations Environmental Program, Environmental Law and Institutions Program Activity Centre*. Nairobi.

USDA. (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*.

USDA, S. S. (1951). *Natural Resources Conservation Service*. Obtenido de Soils: [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051308.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051308.pdf)

van Voss, O. H., Aguirre M., N., y Hofstede, R. (2001). *Sistemas Forestales Integrales para la Sierra del Ecuador*. Quito: ECOPAR.

Zerbino Bardier, M. S. (31 de agosto de 2005). Tesis para obtener el grado de Magister en Ciencias Ambientales. *EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD, BIOMASA Y DIVERSIDAD DE LA MACROFAUNA DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN*. Montevideo, Uruguay.

## **CAPÍTULO VIII**

## 8. APÉNDICES O ANEXOS

### ANEXO 1: Autoría de las fotografías

Las fotografías insertadas en el proyecto pertenecen a la autora del presente estudio, María Elena Flores.

### ANEXO 2: Fotografías



*Imagen 1.* Ubicación de puntos con el GPS



*Imagen 2.* Rotulación de fundas herméticas



*Imagen 3. Realización de monolitos*



*Imagen 4. Extracción del monolito*

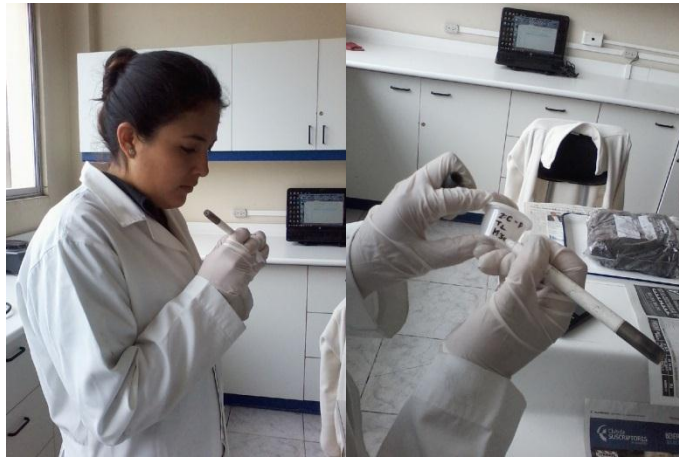


*Imagen 5. Colocación de las muestras en el cooler*

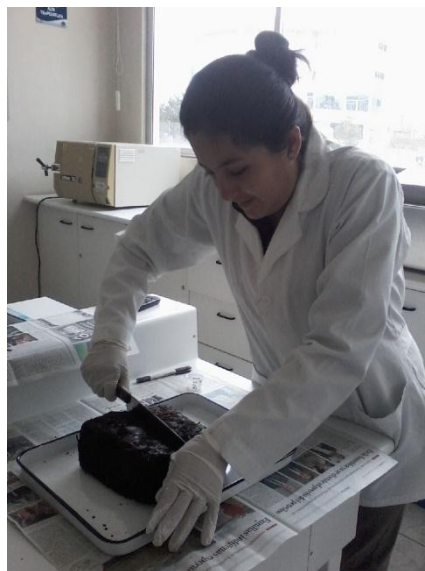




*Imagen 6.* Transporte de las muestras al laboratorio



*Imagen 7.* Codificación de envases



*Imagen 8.* Cuarteo de monolitos



*Imagen 9.* Recolección manual de la mesofauna



*Imagen 10.* Conteo de especies



*Imagen 11.* Identificación de especies