

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN**



Evaluación de la macrofauna edáfica como indicador de la salud del suelo en áreas productivas de la Finca Agroecológica, Horticultura y Estación Experimental en la Universidad Nacional de Agricultura

**INFORME DE TESIS**

POR:

**DULCE MARIA GÓMEZ POSADAS**

Catacamas, Olancho

Septiembre, 2025

Evaluación de la macrofauna edáfica como indicador de la salud del suelo en áreas productivas de la Finca Agroecológica, Horticultura y Estación Experimental en la Universidad Nacional De Agricultura

POR:

**DULCE MARIA GÓMEZ POSADAS**

José Trinidad Reyes Sandoval, Ph.D.

**Asesor Principal, UNAG**

**TESIS**

Presentado como requisito parcial para obtener el título de  
**INGENIERA EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES**

## DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, por permitirme vivir esta experiencia llena de muchos retos y a la misma vez de muchos aprendizajes y por ir siempre delante de mí en todo momento, y en cada paso que di en este camino tan largo.

A mis padres Dilcia Quintanilla y Nelson Gómez por demostrarme su amor incondicional, mayormente a mi madre que ha sido el gran pilar para mantenerme en este proceso con su perseverancia y su sacrificio tan grande, y su apoyo incondicional en este proceso, demostrándole que este logro es de ambas.

A mi tío Cesar Quintanilla por su apoyo, por demostrarme que los sacrificios tienen grandes recompensas y por nunca dejarme sola en este proceso, y a mi hermano mayor Nelson Gómez, por siempre creer en mí, por apoyarme y no dejarme sola el que está en los momentos más difíciles y por extenderme su amor incondicional en este proceso, y al resto de mi familia por creer en mí.

A mi pareja, Javier Mejía, por estar presente en este proceso, por ser otro pilar en este trabajo y por compartir esta experiencia tan extraordinaria y enseñarme a no rendirme en los momentos más adversos que te puede poner la vida por delante.

A mi mejor amiga Astrid Bonilla y a su madre Yadira Hernández por el amor y apoyo incondicional que me han demostrado en todos los procesos que he pasado, y por demostrarme que la vida es mejor con ellas.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, al rey de reyes y señor de señores a mi Dios todo poderoso por darme la fuerza, y sabiduría para poder completar mi proyecto.

A mi familia que siempre me ha apoyado en el transcurso del tiempo, a mi madre, a mi hermano, y a mi abuela María de Jesús por su compañía y buenos consejos siempre, a mi tío y tías por darme un ejemplo tan grande en la vida de perseverancia, y a mis primos por estar en los pequeños y grandes momentos de este trabajo.

Mi más profundo agradecimiento a mis asesores de tesis, Ph. D. José Trinidad Reyes Sandoval, M. Sc. Carlos Roberto Irías, Ph. D. Mario Edgardo Talavera, primeramente, por guiarme en todo este proceso, por su compromiso y paciencia, el cual ha sido muy fundamental para poder lograr este trabajo.

A mi carrera por brindarme un alto conocimiento académico y brindarme la ayuda y apoyo que necesite en este proyecto, de igual forma a la alta calidad del laboratorio de suelos por brindarme las herramientas necesarias.

Y para concluir con esta investigación, me es grato expresar mi mayor agradecimiento a mi pareja nuevamente por todo el apoyo en los momentos difíciles, agradecer a mis compañeros y amigos Astrid Bonilla, Ixchel Hernández, Miguel Montoya y a todos los que de una u otra manera contribuyeron significativamente en la culminación de mi tesis.

## CONTENIDO

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>RESUMEN</b> .....                                                                                                                      | 1  |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....                                                                                                              | 2  |
| <b>II. OBJETIVOS</b> .....                                                                                                                | 3  |
| 2.1    Objetivo General .....                                                                                                             | 3  |
| 2.2    Objetivos Específicos .....                                                                                                        | 3  |
| <b>III. HIPOTESIS</b> .....                                                                                                               | 4  |
| 3.1    Hipótesis Alternativa .....                                                                                                        | 4  |
| 3.2    Hipótesis Nula .....                                                                                                               | 4  |
| <b>IV. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....                                                                                                   | 5  |
| 4.1    Macrofauna del suelo .....                                                                                                         | 5  |
| 4.1.2    Factores bióticos y abióticos .....                                                                                              | 6  |
| 4.1.3    Características de la macrofauna para su uso como indicador biológico<br>del estado de conservación/perturbación del suelo ..... | 7  |
| 4.1.4    Macrofauna como bioindicador de calidad del suelo .....                                                                          | 8  |
| 4.1.5    Calidad del suelo y sus indicadores: La macrofauna edáfica como<br>bioindicador.....                                             | 8  |
| 4.2    Factores que afectan la diversidad y abundancia de la macrofauna.....                                                              | 9  |
| 4.3    Calidad del suelo .....                                                                                                            | 10 |
| 4.3.1    Factores formadores del suelo.....                                                                                               | 11 |
| 4.3.2    Funciones o servicios ecosistémicos del suelo.....                                                                               | 11 |
| 4.3.4    Generalidades del suelo.....                                                                                                     | 13 |
| 4.3.5    Características físicas químicas y biológicas del suelo .....                                                                    | 13 |
| 4.4    Importancia de la evaluación de la calidad del suelo en áreas productivas ....                                                     | 14 |

|            |                                                                                                                    |           |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4.1      | Implicaciones agronómicas .....                                                                                    | 15        |
| 4.4.2      | Sistemas productivos y sostenibilidad .....                                                                        | 15        |
| <b>V.</b>  | <b>MATERIALES Y METODOS .....</b>                                                                                  | <b>17</b> |
| 5.1        | Selección de áreas de estudio y metodología empleada.....                                                          | 17        |
| 5.1.1      | Área de Horticultura.....                                                                                          | 18        |
| 5.1.2      | Área de la Finca Agroecológica .....                                                                               | 19        |
| 5.1.3      | Área Estación Experimental Raúl René Valle .....                                                                   | 20        |
| 5.2        | Metodología .....                                                                                                  | 21        |
|            | .....                                                                                                              | 23        |
| 5.2.1      | Formula global del Indicador .....                                                                                 | 23        |
| 5.2.2      | Secuencia metodología.....                                                                                         | 24        |
| 5.3        | Selección de las áreas de muestreo .....                                                                           | 24        |
| 5.3.1      | La geoestadística en el método de muestreo .....                                                                   | 24        |
| 5.3.2      | Preparación de los materiales y herramientas .....                                                                 | 25        |
| 5.3.3      | Herramientas estadísticas .....                                                                                    | 25        |
| 5.3.4      | Extracción de monolitos de suelo .....                                                                             | 25        |
| 5.3.5      | Separación y recolección de macrofauna .....                                                                       | 26        |
| 5.3.6      | Análisis de las propiedades del suelo .....                                                                        | 26        |
| 5.3.7      | Variables físico químicas.....                                                                                     | 26        |
| 5.3.8      | Identificación y cuantificación de la macrofauna .....                                                             | 27        |
| 5.3.9      | Análisis e interpretación de datos.....                                                                            | 27        |
| 5.3.10     | Generación de resultados .....                                                                                     | 27        |
| <b>VI.</b> | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>                                                                                 | <b>28</b> |
| 6.1        | Comparación de la macrofauna edáfica en las áreas productivas evaluadas ..                                         | 28        |
| 6.2        | Estadística descriptiva de propiedades físico-químicas del suelo en la Finca Agroecológica .....                   | 30        |
| 6.3        | Estadística descriptiva de propiedades físico-químicas del suelo en la Estación Experimental Raúl René Valle ..... | 31        |

|               |                                                                                                          |           |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.4           | Estadística descriptiva de propiedades físico-químicas del suelo en Horticultura .....                   | 33        |
| 6.5           | Análisis (PCA) integrado de muestras, macrofauna, e histograma.....                                      | 35        |
| 6.6           | Agrupación de sitios de muestreo en función de la macrofauna edáfica .....                               | 37        |
| 6.7           | Análisis de verificación estadística de la separación entre sitios .....                                 | 38        |
| 6.8           | Análisis de la curva de distribución del test de la macrofauna .....                                     | 38        |
| 6.9           | Análisis (PCA) integrado de muestras, variables físico-químicas, e histograma                            | 39        |
| 6.10          | Agrupación de sitios de muestreo en función físico-químicas del suelo .....                              | 41        |
| 6.11          | Análisis de coinercia entre variables de macrofauna y físico químicas del suelo                          | 43        |
| 6.12          | Gráfico de co-inercia.....                                                                               | 44        |
| 6.13          | Gráfica con flechas, análisis de proyección co-inercia entre macrofauna y variables físico-Químicas..... | 45        |
| 6.14          | Prueba de permutación (Monte Carlo test) .....                                                           | 47        |
| 6.15          | Gráfico del test de coinercia.....                                                                       | 47        |
| <b>VII.</b>   | <b>CONCLUSIONES.....</b>                                                                                 | <b>49</b> |
| <b>VIII.</b>  | <b>RECOMENDACIONES.....</b>                                                                              | <b>50</b> |
| <b>IX.</b>    | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>                                                                  | <b>52</b> |
| <b>ANEXOS</b> | <b>.....</b>                                                                                             | <b>55</b> |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Elementos de formula global del indicador (macrofauna) .....                                                                                    | 24 |
| <b>Tabla 2</b> Métodos utilizados para determinar las variables biológicas, químicas y físicas del suelo. Tomado de (Calderón, Bautista, & Rojas, 2018). ..... | 26 |
| <b>Tabla 3</b> Abundancia de individuos, grupos dominantes y riqueza taxonómica como indicadores de salud del suelo en las áreas de estudio. ....              | 29 |
| <b>Tabla 4</b> Resultados descriptivos de las propiedades del suelo en la Finca Agroecológica. ....                                                            | 30 |
| <b>Tabla 5</b> Resultados descriptivos de las propiedades del suelo en la Estación Experimental Raúl René Valle. ....                                          | 32 |
| <b>Tabla 6</b> Resultados descriptivos de las propiedades del suelo en Horticultura. ....                                                                      | 33 |
| <b>Tabla 7</b> Prueba de permutación Monte Carlo, macrofauna y físico-químicos. ....                                                                           | 47 |



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> Relación entre las actividades de la macrofauna, las características edáficas y la productividad vegetal, representadas dentro del cuadro de interacciones biológicas y determinada por los factores bióticos y abióticos (Brown, 2001)..... | 7  |
| <b>Figura 2</b> Efecto de algunas técnicas agrícolas en la diversidad de la fauna edáfica (tomado de Crossley, 2019).....                                                                                                                                    | 15 |
| <b>Figura 3</b> Zonas de muestreo en la UNAG, Catacamas, Olancho - Honduras. ....                                                                                                                                                                            | 17 |
| <b>Figura 4</b> Puntos de muestreo del área de Horticultura-UNAG .....                                                                                                                                                                                       | 19 |
| <b>Figura 5</b> Puntos de muestreo de la Finca Agroecológica-UNAG .....                                                                                                                                                                                      | 20 |
| <b>Figura 6</b> Puntos de muestreo de la Estación Experimental Raúl René Valle-UNAG ....                                                                                                                                                                     | 21 |
| <b>Figura 7</b> Pasos a seguir en el muestreo manual de macroinvertebrados del suelo (Bautista, Huerta, & George, 2011).....                                                                                                                                 | 23 |
| <b>Figura 8</b> PCA de macrofauna, muestras e histograma. ....                                                                                                                                                                                               | 35 |
| <b>Figura 9</b> PCA de la distribución de macrofauna edáfica por sitio de muestreo. ....                                                                                                                                                                     | 37 |
| <b>Figura 10</b> Distribución de la Simulación del test de permutación de la macrofauna.....                                                                                                                                                                 | 39 |
| <b>Figura 11</b> PCA de variables físico-químicas del suelo, muestras e histograma. ....                                                                                                                                                                     | 40 |
| <b>Figura 12</b> PCA de la distribución físico-químicos del suelo.....                                                                                                                                                                                       | 42 |
| <b>Figura 13</b> Distribución de la Simulación del test de permutación de físico-químicos...                                                                                                                                                                 | 43 |
| <b>Figura 14</b> Gráfico de co-inercia entre propiedades físico-químicas del suelo y grupos de macrofauna edáfica en las áreas de estudio.....                                                                                                               | 44 |
| <b>Figura 15</b> Gráfica de flechas proyección de co-inercia.....                                                                                                                                                                                            | 46 |
| <b>Figura 16</b> Prueba de permutación de coinercia. ....                                                                                                                                                                                                    | 48 |
| <b>Figura 17</b> Proceso de muestreo de suelo en campo mediante pala (izquierda) y almacenamiento de las muestras en sacos (derecha) para el traslado al laboratorio.....                                                                                    | 76 |
| <b>Figura 18</b> Herramientas para la recolección de macrofauna edáfica, pinzas de recolección (izquierda) frasco plástico con tapa hermética para almacenamiento y conservación de muestras (derecha).....                                                  | 76 |

|                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 19</b> Bandeja de madera para separación de suelo y organismos (izquierda) y cuadrante de 25 × 25 cm empleado en la delimitación del monolito de suelo (derecha). | 77 |
| <b>Figura 20</b> Proceso de maceración del suelo para análisis de laboratorio.                                                                                              | 79 |
| <b>Figura 21</b> Determinación peso de humedad en muestra de suelo.                                                                                                         | 80 |
| <b>Figura 22</b> Proceso de secado de muestras de suelo en horno a temperatura controlada, previo a los análisis físico-químicos.                                           | 80 |
| <b>Figura 23</b> Preparación de muestras de suelo para análisis de textura mediante el método de hidrómetro.                                                                | 81 |
| <b>Figura 24</b> Preparación de muestras de suelo para la determinación de pH.                                                                                              | 81 |
| <b>Figura 25</b> Determinación de respiración basal como indicador de la actividad microbiana.                                                                              | 82 |
| <b>Figura 26</b> Termitas (Isoptera) conservadas en alcohol.                                                                                                                | 82 |
| <b>Figura 27</b> Lombrices preservadas en formulina.                                                                                                                        | 83 |
| <b>Figura 28</b> Hormigas conservadas en alcohol (Hymenoptera).                                                                                                             | 83 |
| <b>Figura 29</b> Cucarachas conservadas en alcohol (Blatodea).                                                                                                              | 84 |
| <b>Figura 30</b> Escarabajos conservados en alcohol (Coleópteros).                                                                                                          | 84 |
| <b>Figura 31</b> Arañas conservadas en alcohol (Arachnida).                                                                                                                 | 85 |
| <b>Figura 32</b> Milpiés (Diplopodos).                                                                                                                                      | 85 |
| <b>Figura 33</b> Tijeretas conservadas en alcohol (Dermáptera).                                                                                                             | 86 |
| <b>Figura 34</b> Larvas lepidópteras conservadas en alcohol.                                                                                                                | 86 |
| <b>Figura 35</b> Caracoles conservados en alcohol (Gasterópodos).                                                                                                           | 87 |
| <b>Figura 36</b> Chicharras conservadas en alcohol (hemípteras).                                                                                                            | 87 |
| <b>Figura 37</b> Larvas de dípteras conservadas en alcohol.                                                                                                                 | 88 |
| <b>Figura 38</b> Gallina Ciega conservada en alcohol (Coleópteras).                                                                                                         | 88 |
| <b>Figura 39</b> Larvas de luciérnagas conservadas en alcohol (coleóptera).                                                                                                 | 89 |

## LISTA DE ANEXOS

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Anexo 1</b> Coordenadas de muestra Finca Agroecológica, Estación Experimental Raúl Rene Valle y Horticultura.....                    | 56 |
| <b>Anexo 2</b> Gráfico PCA para variables de macrofauna .....                                                                           | 57 |
| <b>Anexo 3</b> Distribución de las muestras de macrofauna edáfica según análisis de ordenación .....                                    | 57 |
| <b>Anexo 4</b> Gráfico de sedimentación de los valores propios obtenidos (PCA) de macrofauna. ....                                      | 58 |
| <b>Anexo 5</b> Círculo de correlaciones de las variables físico-químicas (PCA). ....                                                    | 58 |
| <b>Anexo 6</b> Ordenación de las muestras según las variables físico-químicas del suelo (PCA). ....                                     | 59 |
| <b>Anexo 7</b> Gráfico de sedimentación de valores propios obtenidos (PCA) de las variables físico-químicas. ....                       | 59 |
| <b>Anexo 8</b> Tabla de abundancia grupo taxonómico Finca Agroecológica.....                                                            | 60 |
| <b>Anexo 9</b> Tabla de abundancia grupo taxonómico con formula del indicador de macrofauna Finca Agroecológica.....                    | 60 |
| <b>Anexo 10</b> Tabla de abundancia grupo taxonómico Estación Experimental Raúl René Valle.....                                         | 61 |
| <b>Anexo 11</b> Tabla de abundancia grupo taxonómico con formula del indicador de macrofauna Estación Experimental Raúl René Valle..... | 61 |
| <b>Anexo 12</b> Tabla de abundancia grupo taxonómico Horticultura. ....                                                                 | 62 |
| <b>Anexo 13</b> Tabla de abundancia grupo taxonómico con formula del indicador de macrofauna Horticultura. ....                         | 62 |
| <b>Anexo 14</b> Tabla de humedad Finca Agroecológica.....                                                                               | 63 |
| <b>Anexo 15</b> Tabla de humedad Estación Experimental Raúl René Valle .....                                                            | 63 |
| <b>Anexo 16</b> Tabla de humedad Horticultura. ....                                                                                     | 64 |
| <b>Anexo 17</b> Tabla densidad aparente Finca Agroecológica. ....                                                                       | 64 |
| <b>Anexo 18</b> Tabla densidad aparente Estación Experimental Raúl René Valle. ....                                                     | 65 |
| <b>Anexo 19</b> Tabla densidad aparente Horticultura.....                                                                               | 65 |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Anexo 20</b> Tabla materia orgánica y nitrógeno Finca Agroecológica .....                                                                    | 66 |
| <b>Anexo 21</b> Tabla materia orgánica y nitrógeno Estación Experimental Raúl René Valle.<br>.....                                              | 66 |
| <b>Anexo 22</b> Tabla materia orgánica y nitrógeno Horticultura.....                                                                            | 67 |
| <b>Anexo 23</b> Tabla respiración basal Finca Agroecológica. ....                                                                               | 67 |
| <b>Anexo 24</b> Tabla respiración basal Estación Experimental Raúl René Valle. ....                                                             | 68 |
| <b>Anexo 25</b> Tabla respiración basal Horticultura.....                                                                                       | 68 |
| <b>Anexo 26</b> Tabla densidad real Finca Agroecológica. ....                                                                                   | 69 |
| <b>Anexo 27</b> Tabla densidad real Estación Experimental Raúl René Valle. ....                                                                 | 69 |
| <b>Anexo 28</b> Tabla densidad real Horticultura. ....                                                                                          | 70 |
| <b>Anexo 29</b> Tabla porosidad Finca Agroecológica. ....                                                                                       | 70 |
| <b>Anexo 30</b> Tabla porosidad Estación Experimental Raúl René Valle. ....                                                                     | 71 |
| <b>Anexo 31</b> Tabla porosidad Horticultura. ....                                                                                              | 71 |
| <b>Anexo 32</b> Tabla textura Finca Agroecológica. ....                                                                                         | 72 |
| <b>Anexo 33</b> Tabla textura Estación Experimental Raúl René Valle. ....                                                                       | 73 |
| <b>Anexo 34</b> Tabla textura Horticultura.....                                                                                                 | 74 |
| <b>Anexo 35</b> Tabla de contribución de variables en los ejes del PCA, integrado de<br>muestras, macrofauna, e histograma. ....                | 75 |
| <b>Anexo 36</b> Tabla de contribución de variables en los ejes del PCA, integrado de<br>muestras, variables físico-químicas, e histograma. .... | 75 |
| <b>Anexo 37</b> Herramientas utilizadas en la recolección de monolitos .....                                                                    | 76 |
| <b>Anexo 38</b> Extracción monolito Finca Agroecológica .....                                                                                   | 77 |
| <b>Anexo 39</b> Extracción monolito Estación Experimental Raúl René Valle. ....                                                                 | 78 |
| <b>Anexo 40</b> Recolección de monolito Horticultura .....                                                                                      | 78 |
| <b>Anexo 41</b> Muestras de macrofauna.....                                                                                                     | 79 |
| <b>Anexo 42</b> Análisis realizados en laboratorio de suelos.....                                                                               | 79 |
| <b>Anexo 43</b> Macrofauna edáfica encontrada en la Finca Agroecológica, Horticultura y<br>Estación Experimental Raúl René Valle.....           | 82 |

Gómez Posadas, D. M. 2025. Evaluación de la macrofauna edáfica como indicador de la salud del suelo en áreas productivas de la finca agroecológica, horticultura y estación experimental en la Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras. Tesis Ing. Gestión Integral de los Recursos Naturales. UNAG. Catacamas, 86 p.

## RESUMEN

La salud del suelo es un factor determinante, para garantizar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, ya que impacta directamente en la productividad y en la conservación de los recursos naturales. A lo largo de este estudio se evaluó la salud de los suelos en áreas productivas de la Universidad Nacional de Agricultura (Finca Agroecológica, Horticultura y Estación Experimental Raúl René Valle), con el propósito de determinar la macrofauna edáfica y su relación con propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como indicadores.

La investigación se realizó a través del método TSBF para el muestreo de macrofauna y análisis de laboratorio para la identificación de las propiedades del suelo, reforzados con herramientas estadísticas multivariadas como el Análisis de Componentes Principales (PCA) y el análisis de coinerencia.

Los resultados señalaron una mayor riqueza biológica y mejores condiciones físicas del suelo en la Finca Agroecológica, indicio de prácticas de manejo más sostenibles; al contrario de la Estación Experimental Raúl René Valle que presentó menor diversidad y signos de compactación. No obstante, los análisis multivariados no evidenciaron significancia estadística, se identificaron patrones ecológicos relevantes que respaldan la utilidad de la macrofauna como bioindicador.

Se comprueba que la integración de indicadores biológicos y edáficos permite una evaluación más integral de la salud del suelo, constituyendo una herramienta clave para orientar estrategias de manejo agroecológico.

**Palabras Clave:** Salud del suelo, macrofauna edáfica, biodiversidad, indicadores biológicos, manejo agroecológico, conservación de suelos.

## I. INTRODUCCIÓN

El suelo refleja uno de los recursos naturales más importantes para el soporte de la vida, ya que provee nutrientes a las plantas, regula el ciclo del agua, conserva carbono y sostiene una amplia diversidad de organismos. No obstante, en las últimas décadas la inquietud mundial por el deterioro de este recurso ha crecido debido a la erosión y compactación, al uso intensivo de prácticas agrícolas inadecuadas, y la aplicación de pesticidas y plaguicidas. Estas limitaciones impactan tanto, en la productividad agrícola como en la habilidad de los ecosistemas para mantener su funcionamiento básico. Bajo estas condiciones, se hace necesario examinar la salud del suelo utilizando indicadores confiables que muestren su condición actual y guíen su gestión sostenible. La macrofauna edáfica, que incluye a los organismos como las lombrices, los coleópteros, los gasterópodos y otros invertebrados, es considerada un indicador biológico efectivo debido a su papel en el movimiento de nutrientes, la formación de agregados y la descomposición de la materia orgánica. La revisión, que incluye propiedades físicas y químicas, posibilita obtener una visión completa de la salud del suelo.

Distintos estudios han señalado la utilidad del método TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), donde ha mostrado ser útil para la caracterización estandarizada y comparativa de la macrofauna del suelo. Junto a los análisis de laboratorio de las propiedades edáficas, constituye una herramienta esencial para diagnosticar la situación del suelo bajo diversos sistemas de uso y manejo, con el fin de tomar decisiones en el ámbito agrícola y ambiental. La UNAG, que dispone áreas productivas de diversas prácticas de manejo, es un espacio apropiado para analizar la salud de los suelos y entender cómo estas circunstancias se conectan con la biodiversidad edáfica. Por lo tanto, el estudio en cuestión busca, a través del análisis de la macrofauna edáfica y propiedades físico-químicas, evaluar la salud de los suelos en áreas productivas del campus, su finalidad es crear información que apoye el fortalecimiento de prácticas agrícolas responsables y una gestión sostenible de los recursos naturales.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

- Evaluar la macrofauna edáfica y su abundancia en áreas productivas de la Finca Agroecológica, Horticultura y Estación Experimental Raúl René Valle, para determinar su uso como indicador de la salud de los suelos en la UNAG.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Cuantificar la composición y abundancia de las comunidades de macrofauna edáfica, utilizando el método TSBF para establecer su relación con la salud del suelo.
- Analizar las propiedades físico-químicas del suelo y cómo se relacionan entre sí, para identificar indicadores de su salud y comprender su impacto en las áreas productivas.
- Identificar especies predominantes de macrofauna bajo las áreas de la Finca Agroecológica, Horticultura y Estación Experimental Raúl René Valle y su distribución en función de las condiciones del suelo.

### **III. HIPÓTESIS**

#### **3.1 Hipótesis Alterna**

- Existe una relación significativa entre la diversidad y abundancia de la macrofauna edáfica y los indicadores de salud del suelo, lo que demuestra que los organismos del suelo constituyen un bioindicador confiable para evaluar el estado de áreas productivas agroecológicas y experimentales, evaluadas mediante el método TSBF.

#### **3.2 Hipótesis Nula**

- No existe una relación significativa entre la diversidad y abundancia de la macrofauna edáfica y los indicadores de salud del suelo, lo que demuestra que los organismos del suelo no pueden considerarse como un bioindicador confiable para evaluar el estado de áreas productivas agroecológicas y experimentales, evaluadas mediante el método TSBF.



## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Macrofauna del suelo

La macrofauna comprende invertebrados con un tamaño entre 2 y 20 mm como los formicios, oligoquetos (lombrices), isópodos (cochinillas), diplópodos (milpiés), quilópodos (ciempiés), moluscos e insectos, cuya distribución depende de la temperatura y humedad del suelo. Entre sus beneficios en el suelo destacan la creación de agregados en el suelo, la mejora de la estructura y las propiedades que derivan de ella, regulan la dinámica de la materia orgánica, mejoran la disponibilidad de nutrientes, mezclan el mantillo con el suelo y favorecen la humificación, ejercen tareas de biocontrol al funcionar como depredadores de la macro y meso-fauna y forman comunidades que cooperan para un buen funcionamiento del ecosistema edáfico (Rationally 2023).

La fauna del suelo o edáfica comprende aquellos organismos que pasan toda o una parte de su vida en el interior del suelo, sobre la superficie inmediata de este, en la hojarasca superficial, en los troncos caídos en descomposición y en otros ambientes anexos llamados suelos suspendidos. Dentro de la fauna del suelo, la macrofauna incluye los invertebrados más conspicuos, con una longitud igual o mayor de 10 mm y un diámetro mayor de 2 mm, por lo que son fácilmente visibles en la superficie e interior del suelo. Entre sus miembros se encuentran las lombrices de tierra (Oligochaeta: Haplotaxida), caracoles (Mollusca: Gastropoda), cochinillas (Isopoda), milpiés (Diplopoda), ciempiés (Chilopoda), arañas (Araneae) y diversos insectos, tales como: las termitas (Isoptera), hormigas (Hymenoptera: Formicidae), cucarachas (Dictyoptera: Blattaria), escarabajos (Coleoptera), larvas de moscas (Diptera) y de mariposas (Lepidoptera), chinches y saltamontes (Hemiptera) y grillos (Orthoptera). De estos organismos, los escarabajos suelen ser los más diversos, aunque en abundancia predominan generalmente las termitas y las hormigas, y en biomasa las lombrices de tierra (Brown, Fragoso, Barois, et al., 2001).

#### **4.1.1 Patrones de distribución de la macrofauna edáfica mundial**

Según Brown (2001), a finales del año 2000 se habían realizado más de 560 muestreos en el mundo usando la metodología desarrollada por el “Tropical Soil Biology and Fertility Programme” (TSBF), descrita en el libro de Anderson e Ingram (1993). Hasta el momento, sin embargo, solo se ha publicado una revisión mundial de 73 comunidades de la macrofauna en 29 sitios que mostró como la biomasa y la densidad en las comunidades de la macrofauna eran dominadas por tres grupos principales: las lombrices de tierra, los termes y los artrópodos epigeos. La predominancia de cada grupo varió de acuerdo con el ecosistema, al uso de la tierra y a la región. La biomasa de lombrices de tierra y termes predominó en la mayor parte de los casos, aunque los termes parecieron ser más importantes en los ecosistemas africanos y australianos, en los bosques y sabanas, y en las zonas más áridas. Las lombrices de tierra tuvieron mayor presencia en los ecosistemas más húmedos y en los pastizales, mientras que los artrópodos epigeos, dependientes de la presencia de hojarasca para su supervivencia, se concentraron en bosques y pastizales.

#### **4.1.2 Factores bióticos y abióticos**

El análisis anterior mostró que la comunidad de la macrofauna de los agroecosistemas de labor (cultivos anuales) era muy pobre y contenía biomاسas totales mucho menores a los demás ecosistemas estudiados. El promedio de la biomasa total en agroecosistemas fue 5.1 g m<sup>-2</sup>, mientras que, en los bosques y las sábanas, la biomasa fue cuatro y siete veces mayor, respectivamente. Las plantaciones de árboles, los cultivos arbóreos y los acahuals alcanzaron 38 g m<sup>-2</sup>, mientras que en los pastizales se aumentó extremadamente la macrofauna, llegando hasta los 73.2 g m<sup>-2</sup> (en ambos casos el aumento de la biomasa fue debido principalmente a las lombrices de tierra, que representaron más del 90% de la biomasa total).



**Figura 1** Relación entre las actividades de la macrofauna, las características edáficas y la productividad vegetal, representadas dentro del cuadro de interacciones biológicas y determinada por los factores bióticos y abióticos (Brown, 2001).

#### 4.1.3 Características de la macrofauna para su uso como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo

En la literatura se han abordado varias características para el uso de un determinado grupo taxonómico como bioindicador, basado en este concepto. Los invertebrados que integran la macrofauna del suelo manifiestan algunos de estos rasgos, lo cual justifica su utilización como indicadores biológicos. Entre ellos se pueden señalar: la ventaja de su diversificación taxonómica y ecológica, sus hábitos relativamente sedentarios, la presencia a lo largo del año, y la posibilidad de que sean manipulados e identificados (tratamiento taxonómico). También su corto período entre generaciones permite una rápida respuesta poblacional a los cambios ambientales, y su alta densidad y capacidad de reproducción posibilitan un muestreo intensivo, sin que ello provoque desequilibrio en la comunidad (Cabrera, 2012).

#### **4.1.4 Macrofauna como bioindicador de calidad del suelo**

Por su parte, la concepción de suelo fértil encierra solo el potencial para abastecer de suficientes nutrientes al cultivo, asegurando su crecimiento y desarrollo, y es más usado en el contexto agropecuario y forestal (Calderon, Moreno, & Barra, 2002).

En el pasado, el concepto de calidad fue equiparado con el de productividad agrícola por la poca diferenciación que se hacía entre tierra y suelo. Cabrera, (2019) nos dice que el suelo se define como un componente de la tierra, con una formación vegetal y manejo determinados, y la tierra (definida desde 1976 en el Esquema de Evaluación de tierras de la FAO), tiene un mayor alcance porque comprende además la vegetación, otros integrantes de la biota, procesos ecológicos e hidrológicos que se desarrollan dentro de un sistema, y el ambiente biofísico y socioeconómico que lo rodea (Cruz, Barra, Castillo, & Gutierrez, 2004).

Con respecto a la calidad del suelo se realizan otras afirmaciones, basadas en la posibilidad de este recurso de funcionar adecuadamente con relación a un uso específico y las más actuales reflejan la multifuncionalidad del suelo. En síntesis, el concepto de calidad incluye atributos tales como la fertilidad, la productividad potencial, la sostenibilidad, la calidad medio ambiental y la salud, aunque según Bautista-Cruz et al. (2004) esta percepción debe continuar evolucionando (Cabrera, 2019).

#### **4.1.5 Calidad del suelo y sus indicadores: La macrofauna edáfica como bioindicador**

Según Cabrera (2022), La calidad y salud del suelo son conceptos globales y equivalentes, que implican su capacidad continua de funcionamiento dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, para sostener la productividad biológica, mantener o mejorar la calidad del aire y el agua y favorecer la salud de las plantas.

Los indicadores basados en las propiedades físicas y químicas han sido destinados, por lo general, a evaluar la productividad del suelo desde un punto de vista agronómico. Así, la estructura, textura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, capacidad de almacenamiento de agua y conductividad hidráulica son características físicas del

suelo propuestas como indicadores ya que regulan el crecimiento de las raíces y plántulas, y el movimiento del agua a través del perfil (Cabrera, 2022).

#### **4.2 Factores que afectan la diversidad y abundancia de la macrofauna**

Según Torres (2024), los monocultivos o la práctica continua e intensiva del suelo la aceleran de la degradación de las características físicoquímicas del suelo. En contraste con diversas prácticas, se identifican diversos factores determinantes de su calidad, entre los cuales se incluyen los procesos de formación, los fenómenos patogenéticos, así como las propiedades y atributos inherentes. La revisión de los estudios concernientes a distintos tipos de prácticas agrícolas reveló una marcada variabilidad espacial en las características edáficas. Este fenómeno dificulta en muchos casos la atribución de influencias específicas al manejo; sin embargo, se observa una correlación palpable.

Las prácticas agrícolas convencionales, como la labranza intensiva en combinación con la quema de restos vegetales, han exacerbado la degradación del suelo, pero Cortes & Álvaro (2019), al mismo tiempo recientes investigaciones demuestran, que los animales de pastoreo alteran sustancialmente las propiedades físicoquímicas del suelo, provocando erosión, compactación y reducción del espacio poroso, influyendo a su vez en la velocidad del flujo de agua y modificando el equilibrio de los nutrientes; además, de reducir el contenido de materia orgánica, pérdida de la diversidad y disminución de la fertilidad.

Los suelos sometidos a prácticas agrícolas exhiben un proceso de degradación caracterizado por una disminución en la cantidad de materia orgánica, nitrógeno total y bases intercambiables, además de una capacidad de intercambio catiónico reducida en comparación con suelos sin cultivo y áreas con vegetación natural (Castellanos, 2019).

Las prácticas agrícolas intensivas han afectado las funciones de los ecosistemas, lo cual se manifiesta de manera significativa a través de la pérdida de su diversidad biológica. Son sistemas con largos períodos bajo un mismo cultivo con bajo aporte anual de carbono y disminución de los contenidos de materia orgánica del suelo, generando pérdida progresiva de la fertilidad (Granados & Giraldo, 2020).

La agricultura intensiva ha impactado negativamente los ecosistemas, evidenciándose en una disminución importante de la diversidad biológica. La característica principal es la

siembra de monocultivos por períodos extensos en el que las entradas de materia orgánica son muy bajas, resultando en una disminución de las reservas de carbono y de la fertilidad natural de los suelos (Granados & Giraldo, 2020).

Santiago (2018), mencionan que la variabilidad espacial tiene que ver con el enfoque que se da a la tierra dando lugar a varios niveles de variabilidad, lo que traduce a una disminución en la variación de las propiedades desde suelos jóvenes a residuales, lo que traduce en procesos de homogenización en el tiempo.

### **4.3 Calidad del suelo**

El suelo es un recurso natural finito y no renovable que presta diversos servicios ecosistémicos o ambientales, entre ellos y a manera de ejemplo, el relacionado con su participación en los ciclos biogeoquímicos de elementos clave para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo, etc., que continuamente y por efecto de la energía disponible, pasan de los sistemas vivos a los componentes no vivos del planeta. No obstante, lo más conocido, es que el suelo es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad mundial (Burbano-Orjuela, 2016).

Puede afirmarse, además, que el suelo influye considerablemente sobre el medio en el que se ubica y repercute en las actividades sociales y económicas de los grupos humanos que se asientan en ese territorio, grupos que ejercen diferente grado de presión sobre el suelo y que generan así afectación o deterioro de éste. La historia, da cuenta de cómo el suelo ha hecho parte de la vida de los seres humanos, no obstante, que es el gran olvidado cuando se alude a los recursos naturales (Burbano-Orjuela, 2016).

La degradación del suelo se ha convertido en una de las mayores preocupaciones actuales, debido a su importancia para la preservación de la vida dicho por Sarmiento (2018). El origen de esta problemática ambiental se ha asociado principalmente a la actividad agraria de tipo industrial, pues ésta involucra prácticas como el uso irracional de insumos químicos externos, el empleo de maquinaria pesada, los monocultivos, el sobrepastoreo, y la sobreexplotación de recursos hídricos, las cuales impactan de manera negativa al suelo (Sarmiento, 2018).

#### 4.3.1 Factores formadores del suelo

Los factores formadores de suelo son agentes, fuerza, condiciones o combinación de estos, que actúan sobre un material original para transformarlo en suelo: factores activos y factores pasivos. Sandoval, (2019) dice que se reconoce como: material parental, relieve, clima, organismos y tiempo. Por la interacción de sub-factores del clima, por ejemplo, el viento, temperatura y lluvia, se determinan procesos que finalmente pueden definir propiedades para cada tipo de suelo a través de procesos conocidos como transformaciones, pérdida y adiciones.

#### 4.3.2 Funciones o servicios ecosistémicos del suelo

- a) **Producción de alimentos y biomasa:** Tal vez, la más evidente de las funciones del suelo es el soporte y suministro de nutrientes para las plantas a fin de producir alimentos y biomasa en general. Caben dos observaciones. Primera, que del suelo depende en forma directa o indirecta más del 95% de la producción mundial de alimentos. Segunda, que la degradación del suelo es un problema mayor que amenaza la producción de alimentos en el planeta.
- b) **Escenario indispensable para los ciclos biogeoquímicos:** Los ciclos biogeoquímicos que ocurren en la naturaleza, son mecanismos indispensables para que haya condiciones estables en la Tierra y para que se dé la vida. Estos ciclos que involucran elementos como carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros. son vitales y el suelo tiene una posición central e insustituible en los mismos. Sin estos ciclos no se daría el paso continuo de los elementos químicos de los sistemas vivos del planeta a otros que no lo son.
- c) **Almacenamiento o fijación de carbono:** Por la importancia que tiene el carbono y dadas las circunstancias mundiales actuales del cambio climático, surge como una función aparte del suelo, aquella que se relaciona con el carbono. El suelo es el mayor sumidero de carbono en la naturaleza. La fijación del carbono por el suelo-mal llamada “secuestro de carbono” o “captura de carbono”- impide que el CO<sub>2</sub> vaya a la atmósfera, siendo que este es uno de los gases de efecto invernadero que propician el cambio climático. Con la intermediación de las plantas y la participación de los organismos del suelo, el carbono se transforma en materia orgánica que se acumula en el suelo por amplios periodos de tiempo. Este carbono

almacenado en el planeta en el primer metro de suelo se sabe, es una y media veces superior al acumulado en la vegetación.

- d) **Almacenamiento y filtración de agua:** El suelo capta, infiltra y almacena el agua en el ámbito del ciclo hidrológico y permite así la recarga de los acuíferos. En estas circunstancias, el suelo influye en la calidad del agua, ya que amortigua y atrapa ciertos contaminantes e impide que lleguen a las reservas de agua. El suelo, en estas circunstancias tiende a modular indirectamente la temperatura y la humedad, y por ello puede incidir en la mejora del aire.
- e) **Soporte de las actividades humanas y fuente de materias primas:** Sobre el suelo se realizan actividades industriales, se habilitan zonas residenciales y de infraestructura turística, se construyen carreteras y otras obras civiles. También, el suelo suministra materias primas como turba, grava, arena, arcilla o rocas, utilizadas en varios procesos productivos.
- f) **Reserva de biodiversidad:** El suelo es una de las reservas más importantes de biodiversidad, por el enorme número de organismos que viven en su superficie y al interior de este; la abundancia es tal, que se cree, supera la establecida por encima de este cuerpo natural. Vale subrayar, que los servicios ecosistémicos que presta el suelo dependen de las complejas comunidades de organismos presentes en este medio.
- g) **Depósito del patrimonio geológico y arqueológico:** Gran parte de los restos que dan cuenta de la herencia humana y de la historia ambiental reciente de la Tierra, se hallan en el suelo. La preservación del patrimonio geológico y arqueológico va a depender de los procesos de formación y degradación del suelo y va a estar muy relacionada, por ejemplo, con los efectos de la actividad biológica y la circulación del agua que ocurren en él, además de las acciones humanas de intervención en el suelo.
- h) **Entorno físico y cultural para la humanidad:** El suelo sirve de base a las actividades humanas y es, asimismo, un elemento del paisaje y del patrimonio cultural. El suelo permite que los seres humanos tengan a su disposición alimentos, abrigo, espacio y hábitat para soñar y realizarse como personas en ascenso, y de muchos otros elementos para su existencia (Burbano-Orjuela, 2016).



### **4.3.3 Condiciones que deben cumplir los indicadores de la calidad del suelo**

Según García (2012), para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de la calidad deben cubrir las siguientes condiciones:

- Ser integradores.
- Ser fáciles de medir, basados en información objetiva y fácil de reconocer.
- Ser adecuados al nivel de análisis y al sistema estudiado.
- Ser preferentemente aplicables a un rango de ecosistemas y condiciones.
- Reflejar el atributo de sostenibilidad que se quiere evaluar.
- Ser fáciles de entender.
- Permitir cambios y diferencias entre los sistemas.
- Centrarse en aspectos prácticos y claros (García, 2012).

### **4.3.4 Generalidades del suelo**

Según Sandoval, (2019) El suelo constituye el recurso natural básico para el soporte de los ecosistemas terrestres, ya sean naturales o productivos. La importancia de conservar un suelo de buena calidad es particularmente patente en los sistemas agrícolas, donde la productividad va a depender, en buena medida, del estado de conservación del suelo.

### **4.3.5 Características física químicas y biológicas del suelo**

También Sandoval, (2019) nos dice que las principales propiedades físicas del suelo son el color, la textura, la estructura y las relacionadas con la capacidad de retención de agua en el suelo. Son las que dependen de la parte más íntima del suelo como es su propia composición química. Las más importantes desde el punto de vista de la génesis del suelo son la alteración mineral y la formación de nuevas especies, así como lo relativo a la destrucción de la materia orgánica fresca y la formación de las sustancias húmicas. Además, se deben considerar compuestos que, perteneciendo a la fase sólida del suelo, pueden pasar fácilmente a la fase líquida por ser extraordinariamente solubles, por lo que tienen una extraordinaria movilidad.

Las características químicas del suelo dependen de la parte más íntima del suelo como es su propia composición química. Las más importantes desde el punto de vista de la génesis

del suelo son la alteración mineral y la formación de nuevas especies, así como lo relativo a la destrucción de la materia orgánica fresca y la formación de las sustancias húmicas. Además, se deben considerar compuestos que, perteneciendo a la fase sólida del suelo, pueden pasar fácilmente a la fase líquida por ser extremadamente solubles y tener una gran movilidad. Corresponden fundamentalmente a los contenidos de diferentes sustancias importantes como macronutrientes (N, P, Ca, K, Mg, S) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Cl) para las plantas, o por dotar al suelo de determinadas características (Carbono orgánico, Carbonato cálcico, Fe en diferentes estados). Es lo que se consideran sales solubles del suelo, que incluyen a aquellas cuya solubilidad es más alta que la del yeso y cuya consecuencia es la salinidad (Sandoval, 2019).

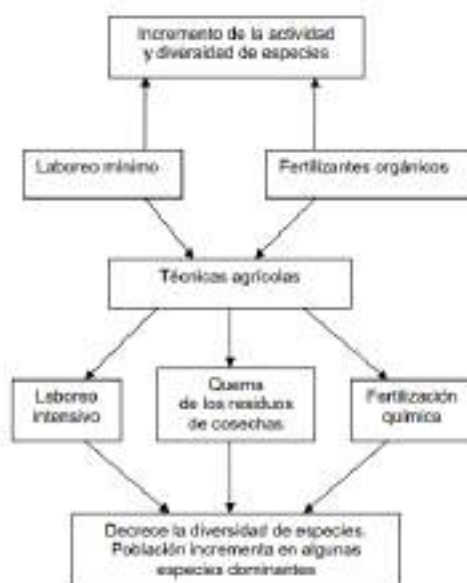
Según Sandoval, (2019) las propiedades biológicas del suelo son muy importantes, ya que está constituida por la microfauna del suelo, como hongo, bacterias, nematodos, insectos y lombrices, los cuales mejoran las condiciones del suelo acelerando descomposición y mineralización de la materia orgánica, además que entre ellos ocurren procesos de antagonismo o sinergia que permite un balance entre poblaciones dañina y benéficas que disminuyen los ataques de plagas a las plantas. La biodiversidad, vocablo que define el abanico de especies que son parte viva del suelo, es fundamental en todo sistema de producción autosustentable.

#### **4.4 Importancia de la evaluación de la calidad del suelo en áreas productivas**

Uno de los problemas más críticos a la hora de implementar políticas y programas fundamentados en el desarrollo sostenible es la selección idónea de indicadores de calidad de suelo que permitan evaluar el impacto de la implementación de diferentes prácticas de manejo agrícolas y pecuarias. También Vallejo (2013), en la actualidad las propiedades biológicas se han convertido en criterios importantes para valorar el manejo o uso de los suelos, de tal forma que se crea la necesidad de orientar la producción agropecuaria hacia nuevas tecnologías fundamentadas en la recuperación de los suelos degradados a través de un manejo agroecológico sostenido que favorezca la biodiversidad.

#### 4.4.1 Implicaciones agronómicas

En los ecosistemas agrícolas desarrollados en los últimos 30 años para alcanzar altas producciones, la fertilización con grandes cantidades de agroquímicos fue determinante y se manejó bajo criterios de necesidad de nutrientes y eficiencia, olvidando que parte de ella está en función de los habitantes del suelo. Estas aplicaciones de agroquímicos han ido causando progresivamente graves problemas de degradación en los suelos, lo que a su vez produce pérdidas de la fauna edáfica y reducción de sus principales actividades. Citado por Odum (1989), las comunidades de organismos del suelo son muy sensibles a los factores climáticos y edáficos que pueden determinar la disponibilidad de alimentos y las condiciones micro climáticas para su desarrollo (fig. 2). Sin embargo, este comportamiento no constituye una limitante, sino que por el contrario representa el potencial que brinda la naturaleza para evaluar el efecto negativo o positivo que presentan algunas técnicas agrícolas en la macrofauna del suelo (Sánchez & Reines, 2001).



**Figura 2** Efecto de algunas técnicas agrícolas en la diversidad de la fauna edáfica (tomado de Crossley, 2019).

#### 4.4.2 Sistemas productivos y sostenibilidad

¿Qué es un sistema productivo sostenible? Un sistema productivo sostenible es un conjunto de actividades desarrolladas en el medio rural para obtener ciertos bienes o servicios con la intención de comercializarlos. Se caracteriza por ciertas formas de uso

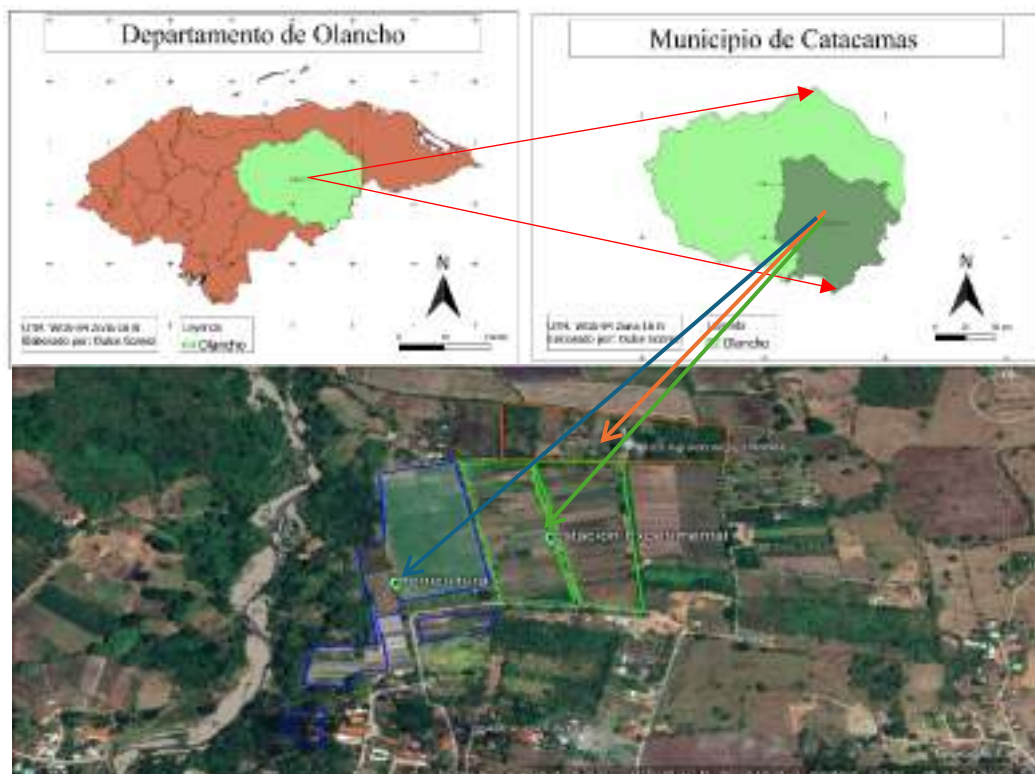
del patrimonio natural que no degradan progresivamente su capacidad. El proyecto se enfoca en siete sistemas productivos sostenibles que pueden tener externalidades positivas en la conservación de la biodiversidad (Rosas, 2013).

Según Valdés & Avalos (2015) el manejo sostenible del suelo se define como aquel que garantiza la conservación de sus características físicas, químicas y biológicas en el tiempo, sin provocar su degradación, lo cual garantiza su fertilidad, resiliencia, estabilidad y productividad prolongadas. Dada la relevancia de la sostenibilidad del suelo para la producción agropecuaria, comprender el sistema de manejo de este recurso, y sus implicaciones, es de vital importancia para asegurar sus funciones esenciales para la sociedad; sin embargo, han sido pocos los esfuerzos por evaluar el impacto del manejo del suelo sobre su estado de sostenibilidad.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Selección de áreas de estudio y metodología empleada

Se llevó a cabo la selección de áreas de estudio de las áreas productivas de la Universidad Nacional de Agricultura, que representan tres tipos de manejo de suelo: Horticultura, Finca Agroecológica y Estación Experimental Raúl René Valle. En estas áreas, se tomaron muestras de suelo para analizar la macrofauna edáfica presente, empleando la metodología TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) adaptada a las condiciones locales. Asimismo, se evaluó las propiedades físicas y químicas del suelo en cada sistema de manejo, utilizando metodologías específicas para el análisis de cada parámetro. A continuación, se describen en detalle los métodos utilizados en el estudio.



**Figura 3** Zonas de muestreo en la UNAG, Catacamas, Olancho - Honduras.

### **5.1.1 Área de Horticultura**

Este espacio es dedicado al cultivo de hortalizas, la cual presenta una diversidad de cultivos entre las que destacan sandía, maíz, chile, tomate, yuca, y limón, además de especies permanentes como palma africana y musáceas. Las prácticas de manejo aplicadas en esta zona incluyen métodos convencionales y, en algunos casos, poco ortodoxos, como el uso de maquinaria agrícola para labores de preparación y mantenimiento de las parcelas.

Esta combinación de técnicas y practicas genera variaciones en las condiciones del suelo, observándose sectores con compactación debido al tránsito de maquinaria, así como áreas de suelos arenosos, con diferentes capacidades de absorción y fertilidad. De igual forma, el área está diseñado para la enseñanza de prácticas e investigación agrícola, esta área cuenta con parcelas organizadas donde se producen diversas especies de hortalizas, empleando técnicas agroecológicas como rotación de cultivos, uso de abonos orgánicos y control biológico de plagas.

Asimismo, se implementan diferentes prácticas para el manejo de un mismo cultivo en distintas especies como ser la sandía. Además, sirve como un laboratorio viviente para estudiantes y docentes, promoviendo prácticas agrícolas responsables que contribuyen al desarrollo de sistemas productivos resilientes y sostenibles. El área mide un aproximado de 93,435 m<sup>2</sup>, lo que permitió que estos se dividieran por parcelas iguales, mediante las cuales se extrajeron 14 monolitos de 25x25 cm, con una profundidad de 30 cm.



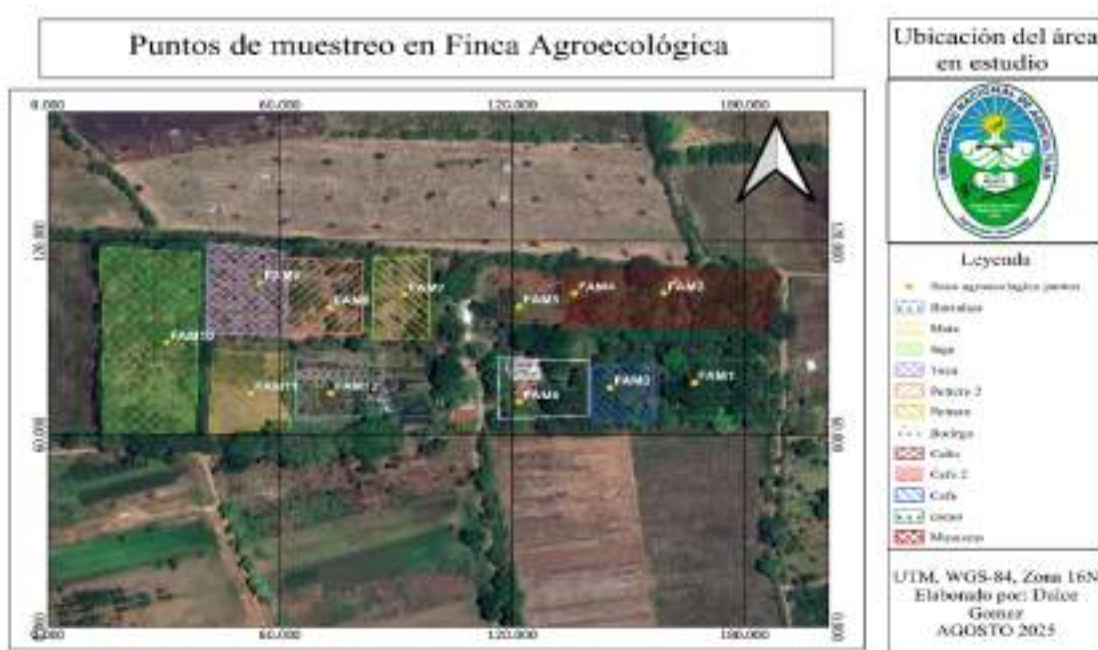
**Figura 4** Puntos de muestreo del área de Horticultura-UNAG

### 5.1.2 Área de la Finca Agroecológica

Es un espacio integral orientado a la producción agrícola sostenible, la conservación ambiental y la educación práctica. En esta finca, se combinan principios agroecológicos con técnicas tradicionales y modernas para fomentar la biodiversidad, la salud del suelo y la resiliencia de los sistemas productivos. Para ello, se aplican métodos orgánicos como el uso de fertilizantes naturales (compost, lombricomposta, estiércol, abonos verdes y biofertilizantes líquidos), así como prácticas sostenibles que incluyen rotación y asociación de cultivos, barreras vivas, cobertura vegetal y conservación de suelos, cuenta con cultivos diversificados, áreas para la cría de animales, manejo de residuos orgánicos, los suelos de esta finca presentan mejor absorción y fertilidad, lo cual favorece el crecimiento de los cultivos tratados bajo un manejo orgánico que prescinde de agroquímicos sintéticos.

Este entorno funciona como un laboratorio viviente para estudiantes y docentes, ya que ofrece una experiencia directa en la implementación de modelos agroecológicos que fortalecen la seguridad alimentaria y el respeto por el medio ambiente, las prácticas que se realizan a través de estos métodos en la finca son eficientes ya que su tratamiento es lo mejor que se puede dar. El área mide un aproximado de 52,400 m<sup>2</sup>, lo que permitió que

estos se dividieron por parcelas iguales, mediante las cuales se extrajeron 12 monolitos de 25x25 cm, con una profundidad de 30 cm.



**Figura 5** Puntos de muestreo de la Finca Agroecológica-UNAG

### 5.1.3 Área Estación Experimental Raúl René Valle

Este es un espacio destinado a la investigación, aprendizaje y desarrollo, donde se realizan diferentes cultivos que reflejan la diversidad productiva. Entre ellos se destacan el maíz, frijol, arroz, gandul, canavalia, mucuna negra, mucuna gris y dolicos, hortalizas como tomate y chile, así como especies de cobertura como la mucuna. En este entorno, se implementan proyectos relacionados con cultivos que se establecen en parcelas manejadas bajo criterios agronómicos, aplicando prácticas como rotación de cultivos, fertilización química y mineral, uso de abonos verdes, barbecho y siembra mecanizada. Dichas labores permiten evaluar el rendimiento y la adaptación de los cultivos a las condiciones locales, al tiempo que ofrecen un espacio de aprendizaje práctico para los estudiantes en cuanto a manejo de suelos, fertilización y control fitosanitario.

No obstante, el manejo intensivo y el uso frecuente de maquinaria agrícola también generan problemáticas, especialmente la compactación del suelo, que reduce la aireación y la infiltración de agua, afectando el desarrollo radicular. A esto se suman áreas con



suelos, con baja retención de nutrientes, en contraste con zonas más fértiles donde los cultivos muestran un mejor desempeño, lo que permite a los estudiantes y docentes realizar estudios experimentales enfocados en la mejora de sistemas productivos, la calidad del suelo y la biodiversidad. Su objetivo principal es fomentar el conocimiento práctico y científico en un contexto real. El área mide un aproximado de 91,266 m<sup>2</sup>, lo que permitió que estos se dividieron por parcelas iguales, mediante las cuales se extrajeron 15 monolitos de 25x25 cm, con una profundidad de 30 cm.



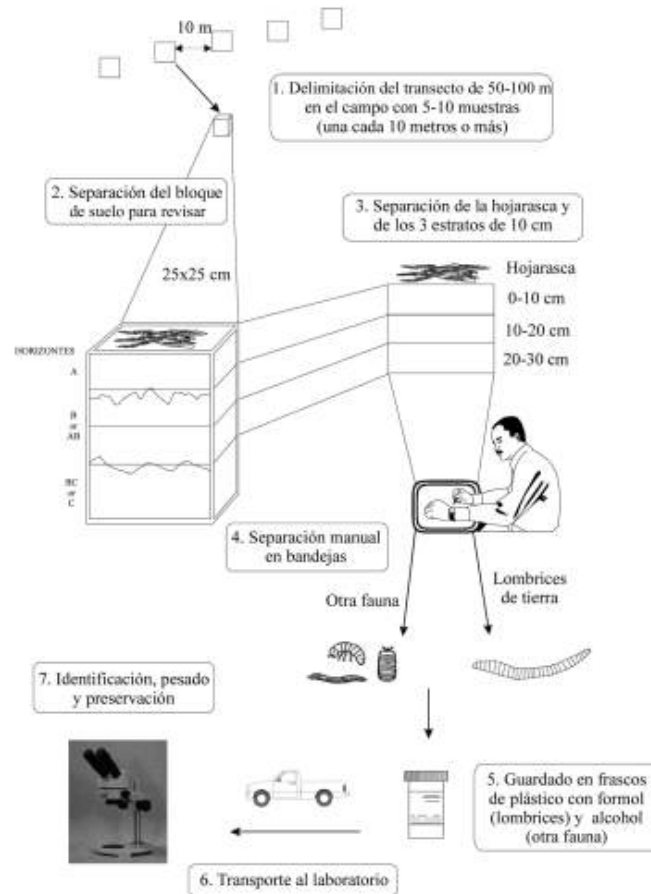
**Figura 6** Puntos de muestreo de la Estación Experimental Raúl René Valle-UNAG

## 5.2 Metodología

Se implementó el trabajo con la metodología TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) método frecuentemente empleado para analizar la macrofauna del suelo y su vínculo con la fertilidad y la calidad de este. Este procedimiento fue creado por el programa TSBF con el objetivo de simplificar la comparación de estudios sobre suelos tropicales. El método para evaluar la macrofauna se encuentra bajo la normatividad ISO 23611-5: 2011 y consiste en tomar monolitos de suelo de 25 × 25 cm y 30 cm de profundidad. Se separan en bolsas resistentes, la hojarasca y luego tres capas de suelo a 0-10cm; 10-20 cm y 20-30 cm. Su meta principal consiste en analizar la diversidad, abundancia y biomasa de organismos edáficos, que son esenciales indicadores biológicos de la condición del suelo.

El método **Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF)** también es una metodología ampliamente utilizada para estudiar la biología y la fertilidad del suelo, con un enfoque particular en el análisis de la materia orgánica, los nutrientes y la macrofauna del suelo. Este método fue desarrollado para evaluar la relación entre los organismos del suelo y la dinámica de los nutrientes en sistemas tropicales, proporcionando datos esenciales para la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas y el manejo sostenible del suelo.

El método TSBF se utiliza en ambientes tropicales, se delimitan las unidades o áreas de terreno a muestrear (fig. 7), se coloca el cuadrante sobre uno de los puntos que se tomaron del área y se retira el monolito del suelo de dimensiones específica, colocamos los monolitos en bolsas de plástico, primeramente los 0-10 cm luego de 10-20 cm y por ultimo de 20-30 cm y se extraen los organismos del suelo manualmente con una pinza o un pincel, se conservan los organismos colectados en formol o alcohol, posteriormente se colectan de forma manual todos los invertebrados visibles al ojo, conservando aquellos de cuerpo blando como larvas de insectos y lombrices en formaldehído al 4% y los demás en alcohol al 75%, se identifican los organismos colectados especialmente en frascos desechables. Al identificar los organismos se realizó un cuadro en el cual añadimos el orden y cantidad de las especies recolectadas, cuando se recopilaron los datos requeridos una fórmula para obtener los indicadores de la macrofauna.



**Figura 7** Pasos a seguir en el muestreo manual de macroinvertebrados del suelo (Bautista, Huerta, & George, 2011).

### 5.2.1 Formula global del Indicador

El manejo de los datos facilitó la fórmula global para calcular el valor del indicador (indicador macro) en cada sitio individual, se calcula como la suma de los productos, para cada variable transformada de sus respectivas correlaciones con los factores 1 y 2, multiplicada por los porcentajes de varianza explicados por cada factor, en el análisis global, tras sumar las expresiones de ponderación de las variables (factor x), se obtuvo la siguiente fórmula:

$$\text{RawI} = 18.30 * \text{EW} + 16.83 * \text{AN} + 9.20 * \text{TE} + 7.69 * \text{BL} + 19.62 * \text{CO} + 15.09 * \text{AR} + 18.78 * \text{DO} + 0.12 * \text{CH} + 16.31 * \text{DL} + 11.29 * \text{HM} + 7.58 * \text{DR} + 9.15 * \text{LE} + 15.08 * \text{GA} + 19.82 * \text{OT} + 24.74 * \text{DN} + 27.88 * \text{TR} \text{ (Hurtado E. Lugo, 2024).}$$

**Tabla 1** Elementos de formula global del indicador (macrofauna)

| Abreviatura | Grupo Taxonómico                        |
|-------------|-----------------------------------------|
| RAWL        | Índice de abundancia relativa ponderada |
| EW          | Lombrices                               |
| AN          | Hormigas                                |
| TE          | Termitas                                |
| BL          | Blatódea                                |
| CO          | Coleoptera                              |
| AR          | Arachnida (arañas)                      |
| DO          | Diplopoda (milpiés)                     |
| CH          | Chilopoda (Ciempiés)                    |
| DL          | Larvas de Diptera                       |
| HM          | Hemiptera                               |
| DR          | Dermáptera                              |
| LE          | Larvas de Lepidoptera                   |
| GA          | Gasterópoda                             |
| OT          | Otros                                   |
| DN          | Densidad total                          |
| TR          | Riqueza taxonómica                      |

### 5.2.2 Secuencia metodología

La fase de metodología del método TSBF se estructura en fases claves para garantizar la recolección, análisis y procesamiento de datos de manera eficiente y estandarizada.

## 5.3 Selección de las áreas de muestreo

Para iniciar, se identifican y delimitan las áreas de estudio asegurando que sean representativas de los sistemas de manejo agrícola en evaluación, como finca agroecológica, horticultura y zona experimental. Estas áreas deben seleccionarse considerando criterios como el uso del suelo, la vegetación predominante, la pendiente y el tipo de manejo aplicado.

### 5.3.1 La geoestadística en el método de muestreo

Para determinar la distribución espacial de lombrices o macroinvertebrados se realizan muestreos geoestadísticos con un mínimo de 36 monolitos distribuidos al azar o en una red de mallado, haciendo los monolitos a una distancia exactamente igual. Así, se puede determinar la distribución espacial de parámetros poblacionales como la biomasa,

densidad y diversidad de los macroinvertebrados edáficos y/o lombrices de tierra, en conjunto con la distribución de algún elemento físico o químico del suelo. Es importante recordar que la distancia entre los puntos de muestreo o monolitos dependerá del objeto del estudio (Bautista, Huerta, & George, 2011).

### **5.3.2 Preparación de los materiales y herramientas**

Antes de realizar el muestreo, se organiza y prepara el equipo necesario para el trabajo de campo. Entre las herramientas se incluyen palas, machetes y cuadrículas para delimitar los monolitos, así como bolsas etiquetadas para la recolección de muestras. Además, se utilizan guantes, lupas y alcohol al 70% para la conservación de los organismos recolectados, garantizando así la integridad de las muestras para su análisis posterior.

### **5.3.3 Herramientas estadísticas**

Los datos fueron analizados utilizando el software estadístico RStudio, para ello se aplicó un análisis de componentes principales (PCA), con el objetivo de identificar patrones de distribución y asociaciones entre las variables evaluadas. Asimismo, se realizó un análisis de co-inercia para examinar las relaciones existentes entre la composición de la macrofauna edáfica y las propiedades físico-químicas del suelo. Finalmente, la significancia estadística de los resultados fue determinada mediante la prueba de permutación de Monte Carlo, utilizando 999 permutaciones como criterio de validación.

### **5.3.4 Extracción de monolitos de suelo**

En cada parcela seleccionada, se escogerá al azar un punto de muestreo. Allí se delimita un bloque de 25 cm x 25 cm con una profundidad de 30 cm, conocido como monolito de suelo. La excavación se realiza con extremo cuidado para evitar dañar la estructura del suelo y los organismos presentes en él. Este proceso permite obtener una muestra representativa del suelo y su fauna edáfica.

### 5.3.5 Separación y recolección de macrofauna

El suelo que se extraerá del monolito se tamiza e inspecciona manualmente para recolectar todos los organismos visibles mayores a 2 mm, como lombrices, insectos y arácnidos. Estos organismos se agrupan según sus características taxonómicas y se almacenan en recipientes etiquetados con información relevante del lugar, la fecha y el grupo correspondiente. Se utiliza alcohol al 70% para conservar las muestras hasta su análisis en laboratorio.

### 5.3.6 Análisis de las propiedades del suelo

Paralelamente a la recolección de la macrofauna, se tomarán submuestras del monolito para evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo. Estas propiedades incluyen parámetros como la textura, el pH, la materia orgánica y el contenido de humedad, los cuales son fundamentales para interpretar la relación entre las comunidades biológicas del suelo y su calidad.

### 5.3.7 Variables físico químicas

**Tabla 2** Métodos utilizados para determinar las variables biológicas, químicas y físicas del suelo. Tomado de (Calderón, Bautista, & Rojas, 2018).

| Variable                 | Tipo de Variable    | Método Utilizado      |
|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| Macrofauna edáfica       | Biológica           | TSBF                  |
| Respiración basal        | Biológica / Química | Método de incubación  |
| Estabilidad de agregados | Física              | Agitador estilo yoder |
| Humedad                  | Física              | Método cilíndrico     |
| Densidad aparente        | Física              | Método del cilindro   |
| Densidad real            | Física              | Método del picnómetro |
| Textura                  | Física              | Método de bouyoucos   |
| Porosidad                | Física              | Cálculo indirecto     |
| Porcentaje de nitrógeno  | Química             | Método Walkley-Black  |
| Materia orgánica         | Química             | Método Walkley-Black  |
| pH                       | Química             | Potenciómetro         |

### **5.3.8 Identificación y cuantificación de la macrofauna**

En el laboratorio, los organismos que se recolectaron se identificaron al nivel taxonómico más detallado posible (especie, género o familia). Posteriormente, se documentaron mediciones como la diversidad (número de especies o grupos presentes), la abundancia (cantidad de individuos por grupo) y la biomasa (peso seco de los organismos). Estos datos permiten evaluar la estructura y funcionalidad de las comunidades edáficas.

### **5.3.9 Análisis e interpretación de datos**

Los datos que se obtuvieron sobre la macrofauna se relacionaron con las propiedades del suelo y los sistemas de manejo agrícola de las parcelas estudiadas. De esta manera, se analizan las tendencias en biodiversidad y calidad del suelo, evaluando cómo influyen las prácticas agrícolas y sostenibles sobre la salud del suelo. Este análisis es crucial para interpretar el papel de la macrofauna como indicador biológico.

### **5.3.10 Generación de resultados**

Finalmente, los resultados se presentaron mediante tablas, gráficos y comparaciones que resumen las principales conclusiones del estudio. Se discutió la influencia de las prácticas agrícolas sobre la salud del suelo, utilizando la diversidad y abundancia de la macrofauna como un indicador clave para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de manejo.

## **VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Evidenciando los principales hallazgos obtenidos a partir del análisis de la macrofauna edáfica y salud del suelo en tres sistemas productivos de la Universidad Nacional de Agricultura: finca agroecológica, horticultura y estación experimental. A través del uso de herramientas estadísticas (RStudio), especialmente el Análisis de Componentes Principales (PCA), se identificó los patrones de variación en la composición y abundancia de los organismos edáficos encontrados, orientado únicamente de lo que se evaluó su potencial como indicadores biológicos, físicos y químicos de la salud del suelo.

Los resultados obtenidos permiten establecer relaciones entre las prácticas de manejo implementadas, en cada sistema productivo y la biodiversidad que existe en cada incorporación al suelo, contribuyendo a una mejor comprensión del estado funcional del ecosistema edáfico. La discusión de estos hallazgos se respalda en la literatura científica y busca resaltar la importancia de la macrofauna como componente clave en los procesos ecológicos del suelo y en la sostenibilidad de los diferentes sistemas productivos.

### **6.1 Comparación de la macrofauna edáfica en las áreas productivas evaluadas**

La comparación de la macrofauna edáfica entre las áreas evaluadas evidencia grandes diferencias marcadas en cuanto a su abundancia, riqueza taxonómica y grupos dominantes, la Finca Agroecológica representa el mayor número de individuos (800, tabla ) y una mayor riqueza taxonómica (13 grupos, tabla ), las termitas fueron su grupo dominante, este grupo es relevante porque refleja un ecosistema con alta actividad de descomposición, ya que las termitas son ingenieros del suelo que fragmentan y transforman la materia orgánica, aceleran el reciclaje de nutrientes y contribuyen en gran manera a la formación de galerías de aireación y la infiltración de agua.



**Tabla 3** Abundancia de individuos, grupos dominantes y riqueza taxonómica como indicadores de salud del suelo en las áreas de estudio.

| Área                                         | Total de individuos | Grupo dominante        | Riqueza taxonómica | RawI (indicador) |
|----------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|------------------|
| <b>Finca Agroecológica</b>                   | 800                 | Termitas (Isoptera)    | 13                 | 0.71 - 0.49      |
| <b>Estación Experimental Raúl René Valle</b> | 377                 | Hormigas (Hymenoptera) | 11                 | 0.52 - 0.1       |
| <b>Horticultura</b>                          | 167                 | Hormigas (Hymenoptera) | 6                  | 0.45 - 0.1       |

Estos procesos favorecen a la fertilidad y estabilidad estructural del suelo, lo que mejora la salud edáfica, la amplitud de los valores del indicador (0.71 – 0.49) también confirman que existe una comunidad diversa y funcionalmente activa.

La Estación Experimental Raúl René Valle nos demostró que, la abundancia fue intermedia (377 individuos) con una riqueza taxonómica de 11 grupos, siendo las hormigas (Hymenoptera) el grupo dominante, su importancia radica en su papel como organismos generalistas capaces de modificar el suelo mediante la construcción de galerías, dispersar semillas y actuar como controladores biológicos de otras especies, y aportan a la regulación natural de las comunidades.

Sin embargo, el valor del indicador (0.52 – 0.10), indica que la diversidad es considerable y la estabilidad de la comunidad edáfica es menor en comparación con la Finca Agroecológica.

Mientras que el área de Horticultura presento la menor abundancia de los individuos (167) y la riqueza taxonómica más baja (6 grupos), con las hormigas siendo su grupo más dominante, aunque las hormigas cumplen un papel positivo en la fragmentación de restos orgánicos y en el control biológico, su predominio en condiciones de baja diversidad refleja un ecosistema más simplificado, posiblemente por el mayor disturbio asociado a prácticas agrícolas intensivas.

Su indicador (0.45 – 0.10), confirma esta tendencia en el que se evidencia un sistema con menor resiliencia y complejidad ecológica.

Los resultados de la dominación de los grupos no solo indican abundancia, también demuestra la función ecológica clava que desempeñan en la dinámica del suelo, las termitas en la Finca Agroecológica resaltan un suelo con procesos activos de reciclaje y

regeneración de fertilidad, mientras que la dominación de hormigas en las otras áreas refleja un papel más regulador pero limitado en términos de aporte a la estructura y materia orgánica.

Esto evidencio que la composición y dominación de la macrofauna son indicadores sensibles de la salud del suelo y refuerzan la importancia de las practicas agroecológicas para conservar la biodiversidad edáfica y garantizar la sostenibilidad de los sistemas productivos.

## 6.2 Estadística descriptiva de propiedades físico-químicas del suelo en la Finca Agroecológica

Los datos estadísticos descriptivos de las propiedades físico-químicas demuestran que la respiración basal presenta una media de 174.16, con una alta variabilidad ( $SD = 151.79$ ) y un rango amplio entre 55.01 y 615.50, lo que evidencia diferencias notables en la actividad microbiana del suelo, asociadas a la disponibilidad de materia orgánica y a la dinámica de descomposición, en cuanto a la densidad aparente y real, los valores promedios fueron de 1.49 y 2.31, dentro de los rangos considerados adecuados para suelos agrícolas, lo cual indica buena aireación y capacidad de almacenamiento de agua.

**Tabla 4** Resultados descriptivos de las propiedades del suelo en la Finca Agroecológica.

| FINCA AGROECOLÓGICA                                                                                                                     |        |        |    |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|----|-------|-------|-------|-------|
| VARIABLE                                                                                                                                | MEDIA  | SD     | N  | SE    | MIN   | MAX   | CV    |
| Respiración basal                                                                                                                       | 174.16 | 151.79 | 12 | 43.82 | 55.01 | 615.5 | 87.15 |
| Densidad aparente                                                                                                                       | 1.49   | 0.09   | 12 | 0.03  | 1.34  | 1.67  | 6.20  |
| Densidad real                                                                                                                           | 2.31   | 0.62   | 12 | 0.18  | 1.96  | 4.26  | 26.83 |
| Estabilidad de agregados                                                                                                                | 5.24   | 0.95   | 12 | 0.27  | 2.8   | 6.1   | 18.11 |
| Porosidad                                                                                                                               | 32.64  | 12.32  | 12 | 3.56  | 18.1  | 67.4  | 37.74 |
| pH                                                                                                                                      | 7.43   | 0.59   | 12 | 0.12  | 6.35  | 8.42  | 8.00  |
| Materia orgánica                                                                                                                        | 2.98   | 0.77   | 12 | 0.2   | 1.55  | 4.42  | 25.63 |
| Carbono orgánico                                                                                                                        | 1.73   | 0.44   | 12 | 0.12  | 0.9   | 2.57  | 25.61 |
| Nitrógeno total                                                                                                                         | 0.15   | 0.04   | 12 | 0.01  | 0.08  | 0.22  | 25.22 |
| Humedad                                                                                                                                 | 19.82  | 3.91   | 12 | 1.13  | 12.74 | 25.09 | 19.73 |
| Arena                                                                                                                                   | 56.3   | 3.32   | 12 | 0.96  | 52.8  | 60.8  | 5.89  |
| Limo                                                                                                                                    | 27.13  | 4.58   | 12 | 1.32  | 20.8  | 34.8  | 16.88 |
| Arcilla                                                                                                                                 | 16.57  | 3.35   | 12 | 0.97  | 12.4  | 22.4  | 20.24 |
| SD: desviación estándar, N: número de muestras, SE: error estándar, MIN: valor mínimo, MAX: valor máximo, CV: coeficiente de variación. |        |        |    |       |       |       |       |

A lo que estabilidad de agregados presenta un valor medio de 5.24, lo que refleja una estructura del suelo relativamente estable, favorecida por la presencia de materia orgánica (2.98) y carbono orgánico (1.73), estos contenidos se consideran moderados, aunque con una cierta variabilidad, lo que contribuye a la cohesión de las partículas y a la mejora de la porosidad, que alcanzo una media de 32.64, y el pH promedio fue de 7.43, indicando condiciones neutras y ligeramente alcalinas lo que es favorable para la mayoría de los cultivos.

En cuanto a los nutrientes, el nitrógeno total demostró un valor bajo (0.15), lo que puede representar una limitante en la fertilidad si no se maneja adecuadamente mediante aportes orgánicos. En relación con la textura, los porcentajes de arena (56.3), limo (27.13) y arcilla (16.57) demostró que el suelo es la clase franco-arenosa, lo que implica buena permeabilidad y drenaje, aunque con menor capacidad de retención de nutrientes.

Los resultados reflejan que los suelos de la Finca Agroecológica mantienen una mejor condición estructural y aceptable de una actividad biológica activa, influenciada principalmente por la incorporación de materia orgánica, con limitaciones en el contenido de nitrógeno que deben considerarse para mantener su fertilidad a largo plazo.

### **6.3 Estadística descriptiva de propiedades físico-químicas del suelo en la Estación Experimental Raúl René Valle**

La respiración basal registro una media de 193.86, con un rango de 26.8 a 302.2, lo cual evidencia una alta actividad microbiana, aunque con variabilidad moderada ( $SD = 78.62$ ), influenciada posiblemente por el contenido de materia orgánica y las practicas de manejo, la densidad aparente fue de 1.49, mientras que la densidad real alcanzo 2.11, valores considerados normales en suelos agrícolas y que sugieren una adecuada relación entre compactación y porosidad.

**Tabla 5** Resultados descriptivos de las propiedades del suelo en la Estación Experimental Raúl René Valle.

| <b>ESTACIÓN EXPERIMENTAL RAÚL RENÉ VALLE</b>                                                                                            |              |           |          |           |            |            |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|----------|-----------|------------|------------|-----------|
| <b>VARIABLE</b>                                                                                                                         | <b>MEDIA</b> | <b>DS</b> | <b>N</b> | <b>SE</b> | <b>MIN</b> | <b>MAX</b> | <b>CV</b> |
| <b>Respiración basal</b>                                                                                                                | 193.86       | 78.62     | 15       | 20.3      | 26.8       | 302.2      | 40.56     |
| <b>Densidad aparente</b>                                                                                                                | 1.49         | 0.12      | 15       | 0.03      | 1.2        | 1.7        | 8.19      |
| <b>Densidad real</b>                                                                                                                    | 2.11         | 0.17      | 15       | 0.04      | 1.9        | 2.6        | 7.97      |
| <b>Estabilidad de agregados</b>                                                                                                         | 3.71         | 1.45      | 15       | 0.37      | 1.6        | 5.9        | 39.01     |
| <b>Porosidad</b>                                                                                                                        | 29.31        | 6.21      | 15       | 1.6       | 18         | 45.1       | 21.20     |
| <b>pH</b>                                                                                                                               | 7.33         | 0.44      | 15       | 0.11      | 6.3        | 8.3        | 6.07      |
| <b>Materia orgánica</b>                                                                                                                 | 2.45         | 1.22      | 15       | 0.32      | 0.2        | 4.6        | 50.03     |
| <b>Carbono orgánico</b>                                                                                                                 | 1.44         | 0.67      | 15       | 0.16      | 0.1        | 2.7        | 46.68     |
| <b>Nitrógeno total</b>                                                                                                                  | 0.12         | 0.058     | 15       | 0.014     | 0.01       | 0.23       | 47.15     |
| <b>Humedad</b>                                                                                                                          | 15.79        | 7.42      | 15       | 1.92      | 7.1        | 34.6       | 47.01     |
| <b>Arena</b>                                                                                                                            | 55.33        | 2.97      | 15       | 0.77      | 50.8       | 60.8       | 5.37      |
| <b>Limo</b>                                                                                                                             | 24.93        | 2.67      | 15       | 0.69      | 20.8       | 32.8       | 10.70     |
| <b>Arcilla</b>                                                                                                                          | 19.73        | 2.89      | 15       | 0.75      | 14.4       | 20.4       | 14.67     |
| SD: desviación estándar, N: número de muestras, SE: error estándar, MIN: valor mínimo, MAX: valor máximo, CV: coeficiente de variación. |              |           |          |           |            |            |           |

La estabilidad de agregados mostro un valor medio de 3.71, inferior al observado en la Finca Agroecológica, indicando menor resistencia estructural del suelo frente a procesos de erosión, aunque aun dentro de un rango funcional para la agricultura, la porosidad presento un promedio de 29.31, que se asocia a un balance aceptable entre retención de agua y aireación, aunque con tendencia a ser limitada frente a valores ideales, el pH fue de 7.33, cercano a la neutralidad, lo que favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales para los cultivos.

Sin embargo, la materia orgánica promedio 2.45 y el carbono orgánico 1.44, son valores moderados que contribuyen a la mejora de la estructura del suelo, aunque son inferiores a los de la Finca Agroecológica, mientras que el nitrógeno total se mantuvo en niveles bajos (0.12), lo que confirma la limitación en la disponibilidad de este nutriente y la necesidad de estrategias de fertilización orgánica o de cobertura vegetal para mantener la productividad.

Referente a la textura, la distribución de arena (55.33), limo (24.93) y arcilla (19.73) ubica al suelo dentro de la clase franco-arenoso, similar al de la Finca Agroecológica,

caracterizada por buena permeabilidad y facilidad de laboreo, aunque con una capacidad moderada de retención de agua y nutrientes.

Los resultados reflejan que los suelos de la Estación Experimental Raúl René Valle mantienen condiciones físicas y químicas adecuadas para el desarrollo agrícola, aunque con una menor estabilidad estructural y menores aportes de materia orgánica en comparación con la finca agroecológica, lo que puede influir en la dinámica de la macrofauna y la resiliencia del sistema productivo.

#### 6.4 Estadística descriptiva de propiedades físico-químicas del suelo en Horticultura

En horticultura la respiración basal presento una media de 153, con un rango de 55.5 a 316.2 y una desviación estándar de 63.56, lo que refleja una actividad microbiana activa, aunque con cierta variabilidad en función de la disponibilidad de materia orgánica y la dinámica de descomposición en los diferentes puntos de muestreo. La densidad aparente (1.6) y la densidad real (2.11) se encuentran dentro de valores aceptables, aunque la densidad aparente es ligeramente superior a la observada en las otras áreas, lo que puede indicar una mayor compactación y, en consecuencia, menor aireación.

**Tabla 6** Resultados descriptivos de las propiedades del suelo en Horticultura.

| <b>HORTICULTURA</b>                                                                                                                     |              |           |          |           |            |            |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|----------|-----------|------------|------------|-----------|
| <b>VARIABLE</b>                                                                                                                         | <b>MEDIA</b> | <b>DS</b> | <b>N</b> | <b>SE</b> | <b>MIN</b> | <b>MAX</b> | <b>CV</b> |
| <b>Respiración basal</b>                                                                                                                | 153          | 63.56     | 14       | 16.99     | 55.5       | 316.2      | 41.54     |
| <b>Densidad aparente</b>                                                                                                                | 1.6          | 0.16      | 14       | 0.04      | 1.3        | 1.8        | 10.11     |
| <b>Densidad real</b>                                                                                                                    | 2.11         | 0.17      | 14       | 0.05      | 1.9        | 2.6        | 8.27      |
| <b>Estabilidad de agregados</b>                                                                                                         | 3            | 1.52      | 14       | 0.41      | 0.7        | 5.5        | 50.55     |
| <b>Porosidad</b>                                                                                                                        | 28.33        | 8.38      | 14       | 2.24      | 12.3       | 43         | 29.58     |
| <b>pH</b>                                                                                                                               | 7.19         | 0.87      | 14       | 0.23      | 5.5        | 8.5        | 12.14     |
| <b>Materia orgánica</b>                                                                                                                 | 2.61         | 0.86      | 14       | 0.23      | 1.3        | 4.1        | 32.80     |
| <b>Carbono orgánico</b>                                                                                                                 | 1.55         | 0.49      | 14       | 0.12      | 0.76       | 2.39       | 31.44     |
| <b>Nitrógeno total</b>                                                                                                                  | 0.134        | 0.042     | 14       | 0.01      | 0.07       | 0.21       | 31.23     |
| <b>Humedad</b>                                                                                                                          | 18.18        | 11.04     | 14       | 2.95      | 4.7        | 44.4       | 60.72     |
| <b>Arena</b>                                                                                                                            | 59.23        | 5.45      | 14       | 1.46      | 52.8       | 72.8       | 9.19      |
| <b>Limo</b>                                                                                                                             | 25.8         | 4.42      | 14       | 1.18      | 16.8       | 34.8       | 17.13     |
| <b>Arcilla</b>                                                                                                                          | 14.97        | 3.08      | 14       | 0.82      | 10.4       | 20.4       | 20.58     |
| SD: desviación estándar, N: número de muestras, SE: error estándar, MIN: valor mínimo, MAX: valor máximo, CV: coeficiente de variación. |              |           |          |           |            |            |           |

La estabilidad de agregados fue mucho más baja entre las tres áreas evaluadas (media-3), lo que señala menor resistencia de la estructura del suelo frente a procesos erosivos y menor capacidad de infiltración, la porosidad promedio fue de 28.33, inferior a la finca agroecológica, lo que refuerza la idea de un suelo con tendencia a la compactación. El pH registrado (7.19) se encuentra en rango neutro, lo cual es favorable para la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo de la mayoría de los cultivos hortícolas.

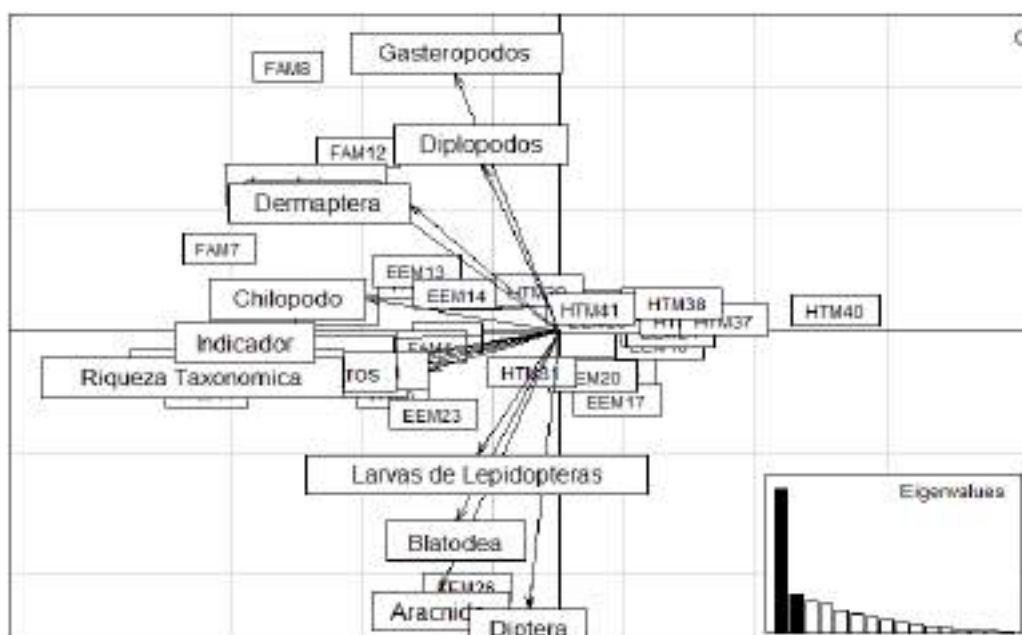
En cuanto a la fertilidad química, la materia orgánica (2.61) y el carbono orgánico (1.55) muestran valores moderados que permiten mantener una cierta actividad biológica, aunque por debajo de lo ideal para sistemas de alta demanda como horticultura, el nitrógeno total fue bajo (0.134), evidenciando una limitante que requiere estrategias de fertilización o rotación con cultivos de aporte biológico de nitrógeno.

Tomando en cuenta textura, los valores de arena (59.23), limo (25.8) y arcilla (14.97) clasifican al suelo como franco-arenoso, caracterizando por buena permeabilidad y facilidad de manejo, pero con limitaciones en retención de agua y nutrientes.

Los resultados indican que el área de horticultura mantiene condiciones físicas y químicas funcionales para la producción, aunque con problemas de menor estabilidad estructural, baja porosidad y contenidos limitados de nitrógeno, lo que puede comprometer la sostenibilidad del sistema si no se adoptan prácticas de conservación y mejoramiento de la fertilidad.

### 6.5 Análisis (PCA) integrado de muestras, macrofauna, e histograma

El análisis de componentes principales (PCA) a través de las variables de macrofauna edáfica permitió evaluar la distribución de las muestras en las diferentes áreas productivas (Finca Agroecológica - FAM, Horticultura - HTM y Estación Experimental Raúl René Valle - EEM). Asimismo, se incluye el histograma de valores propios, que muestra que los dos primeros componentes explican una parte importante de la variabilidad presente en los datos (Figura 8).



**Figura 8** PCA de macrofauna, muestras e histograma.

Algunas muestras como FAM8, FAM12 y FAM7 se alejan del centro del gráfico, proyectándose hacia la dirección de grupos como gasterópodos, diplópodos, dermápteros y quilópodos. Esto permitió evidenciar una mayor abundancia (310 individuos/m<sup>2</sup>) y biodiversidad de estos organismos (14 ordenes) en comparación con las otras áreas. Los registros obtenidos corresponden al área de la Finca Agroecológica, cuya ubicación respalda la idea de que este sistema de manejo favorece una mayor biodiversidad de fauna edáfica. Esto se debe a la implementación de prácticas orgánicas que favorecen la salud del suelo, tales como la incorporación de abonos orgánicos y practicas sostenibles que presentan mejor absorción y fertilidad, lo cual favorece el crecimiento y el desarrollo de la macrofauna.

En comparación con las muestras de la Estación Experimental Raúl René Valle (EEM26 y EEM27) se sitúan en el cuadrante inferior de la fig. 8 más relacionadas con la presencia

de grupos como dípteros, arácnidos y blatódeos, los cuales suelen ser considerados como indicadores de condiciones menos favorables o suelos, que presentan una mayor alteración debido a los distintos usos agrícolas, especialmente por la aplicación de pesticidas, fertilizantes químicos, el uso intensivo de maquinaria y otras prácticas de manejo convencional que afectan la estructura y fertilidad del suelo y este causa daño en la biodiversidad de la macrofauna.

Las muestras del área de Horticultura (HTM), en su mayoría, se concentran cerca del centro del gráfico. Estos hallazgos son relativamente consistentes en la macrofauna (245 individuos/ m<sup>2</sup>) que se presenta en ese sistema con una riqueza de 10 órdenes, sin grandes extremos ni hacia diversidad alta ni hacia condiciones de deterioro. Aun así, se observan pequeñas variaciones entre ellas, como el caso de HTM40, que se ubica más alejada.

Los resultado que se muestran en el Anexo 35, muestra que en el eje 1 del PCA que el indicador (14.29), la riqueza taxonómica (11.22) y la densidad total (11.09), lo que confirma que este componente refleja un gradiente de diversidad y abundancia de macrofauna edáfica, este resultado coincide con la teoría de la diversidad y la riqueza de organismos son variables clave para evaluar la salud del suelo, ya que se integra la presencia de las de distintos grupos funcionales que cumplen roles complementarias en el descomposición, la aireación y el reciclaje de nutrientes. Asimismo, la alta contribución de lombrices (7.14) y termitas (7.66) respalda su reconocimiento como bioindicadores universales, dado que estos organismos son ingenieros del ecosistema que favorecen la estructura y fertilidad edáfica.

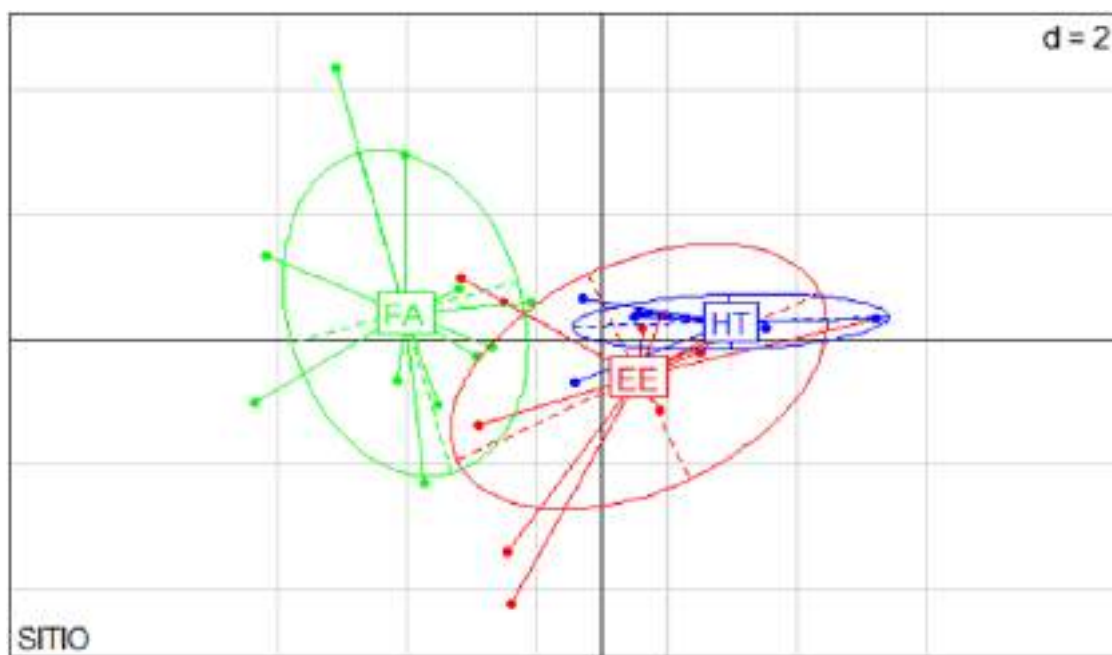
Mientras que el eje 2, represento mayores aportes de dípteros (21.69), gasterópodos (18.62) y diplópodos (7.77), lo que indica que el componente esta más relacionado con la presencia de grupos específicos asociados a condiciones particulares de microhábitat o al efecto de prácticas agrícolas diferenciadas, los dípteros, por ejemplo, suelen encontrarse en ambientes mas perturbados y con acumulación de materia orgánica en descomposición, mientras que los gasterópodos y diplópodos son indicativos de sistemas con mayor cobertura vegetal y humedad.



## 6.6 Agrupación de sitios de muestreo en función de la macrofauna edáfica

Se exponen las muestras proyectadas en el espacio de los dos primeros componentes principales (PCA – Figura 9), coloreadas según el sitio de origen: FA (*Finca Agroecológica, verde*), HT (*Horticultura, azul*) y EE (*Estación Experimental Raúl René Valle, rojo*). Las líneas de dispersión permiten visualizar la variabilidad interna de cada grupo y la separación entre sitios en función de la composición de la macrofauna edáfica.

Se visualiza que las muestras del sitio FA se agrupan de manera clara en el lado izquierdo del gráfico, así se demuestra cierta homogeneidad dentro del grupo, pero a la vez una clara diferenciación con respecto a los otros sitios. Esta separación sugiere que la finca agroecológica presenta una distribución edáfica distinta, potencialmente más enriquecida y conveniente, lo cual concuerda con prácticas de manejo sostenibles que favorecen la biodiversidad del suelo.



**Figura 9** PCA de la distribución de macrofauna edáfica por sitio de muestreo.

Mientras que las muestras del sitio EE (Estación Experimental Raúl René Valle) se agrupan hacia el centro-derecha con una mayor organización en el centro, lo cual indica mayor variabilidad entre parcelas dentro del mismo sitio. Este comportamiento puede relacionarse con el tipo de manejo predominante en la estación, donde se utilizan prácticas agrícolas convencionales como el empleo de maquinaria pesada, fertilizantes químicos y

pesticidas. Estas prácticas tienden a generar compactación del suelo, reducción de la porosidad y disturbios físicos, lo que ocasiona condiciones menos estables para el desarrollo de comunidades de macrofauna.

Las muestras del sitio HT (Horticultura), en color azul, se ubican de manera más concentrada y hacia la derecha del gráfico, mostrando un patrón más compacto y consistente. Esto podría reflejar un manejo intermedio, donde si bien hay menor diversidad en comparación con FA, todavía se conserva una comunidad edáfica relativamente estable.

### **6.7 Análisis de verificación estadística de la separación entre sitios**

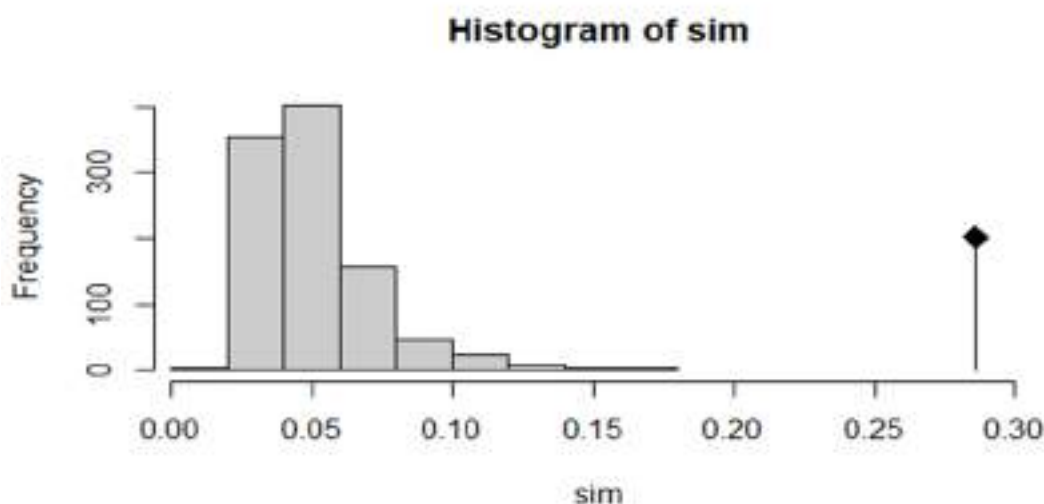
Para comprobar la separación observada entre los sitios FA (Finca Agroecológica), HT (Horticultura) y EE (Estación Experimental Raúl René Valle) en el análisis de los componentes principales (PCA) es estadísticamente significativa, se aplicó un test aleatorizado de Monte Carlo basado en 999 permutaciones. El valor observado de la estadística fue 0.2859, mientras que el valor  $p$  simulado fue de 0.001. Esto significa que la probabilidad de que la separación observada entre sitios ocurra únicamente por azar es de apenas **0.1%**, lo que corresponde a un nivel de significancia menor al 5% ( $p < 0.05$ ).

De esta forma, las diferencias encontradas entre los sitios son altamente significativas, lo que respalda la existencia de variaciones reales en la composición de la macrofauna edáfica y en las condiciones del suelo. Esta diferencia en la composición de la macrofauna edáfica entre FA, HT y EE no son producto del azar, sino que reflejan variaciones reales y consistentes en la comunidad faunística del suelo, posiblemente relacionadas con el uso y manejo del suelo y condiciones edáficas de los sistemas productivos evaluados en este estudio.

### **6.8 Análisis de la curva de distribución del test de la macrofauna**

El histograma representa la distribución de valores esperados de la estadística de separación entre grupos obtenida mediante un test de Monte Carlo con 999 permutaciones. En la curva se observa cómo se comportaría esa estadística si las muestras fueran agrupadas al azar. La mayoría de los valores simulados se agrupan en el intervalo entre 0.02 y 0.10, representa el comportamiento normal esperado si no hubiera diferencias

reales entre las áreas productivas. Sin embargo, el valor observado ( $\approx 0.2859$ ), indicado por la medida observada punto negro (♦) en la figura 10, se encuentra completamente fuera de esa distribución, en el extremo derecho del gráfico.

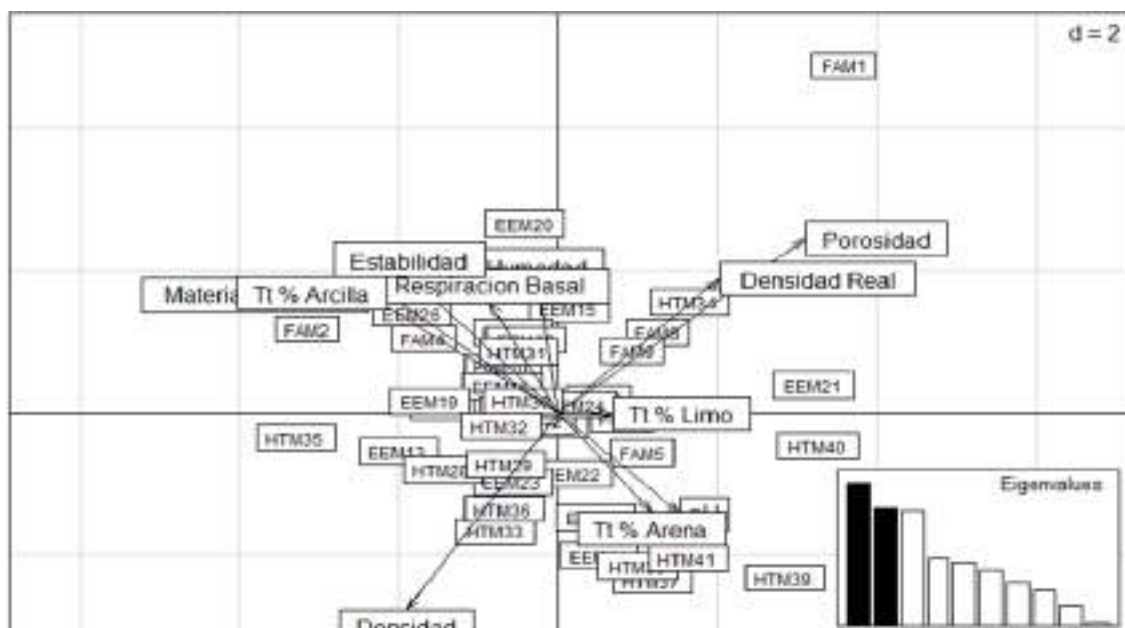


**Figura 10** Distribución de la Simulación del test de permutación de la macrofauna.

Está marcada separación visual confirma lo indicado por el valor  $p = 0.001$  obtenido en el test anterior: la probabilidad de obtener un valor como el observado solo por azar es extremadamente baja. En términos que resultan menos complejos, el patrón de separación entre sitios observados en el PCA no se debe al azar, sino que refleja una diferencia ecológica significativa en la composición de macrofauna edáfica entre los tres sistemas evaluados.

### **6.9 Análisis (PCA) integrado de muestras, variables físico-químicas, e histograma**

En la figura 11 se representa un análisis (PCA) donde se proyectan simultáneamente las variables físico-químicas y las muestras, los vectores muestran la dirección e intensidad de cada variable en la ordenación, mientras que la proximidad de las muestras refleja similitudes en sus características edáficas. El scree plot muestra que los dos primeros componentes concentran la mayor proporción de la varianza explicada.



**Figura 11** PCA de variables físico-químicas del suelo, muestras e histograma.

El PCA demostró que las variables de porosidad, densidad real y pH están fuertemente asociadas y explican la mayor parte de la variabilidad en la composición de las muestras, ubicando a ciertos sitios (*FAM1* y *EEM21*) en posiciones diferentes respecto al resto. De otro modo, las variables como materia orgánica, % de arcilla y respiración basal demuestran correlaciones entre sí y tienden a caracterizar los suelos de las áreas de muestreo más centrales (*EEM* y *HTM*), lo cual demuestra una mayor estabilidad biológica y mejor calidad del suelo en estas zonas.

Asimismo, la variable % de arena se asocia de manera opuesta a la materia orgánica y % de arcilla, demostrando que los suelos más arenosos presentan menor contenido de nutrientes y menor actividad biológica. Esta relación negativa refuerza la idea de que la textura influye directamente en la fertilidad y dinámica del suelo.

Los resultados del anexo 36, demuestran que el eje 1 explica principalmente por la porosidad (26.75), la materia orgánica (15.77) y la densidad real (11.33), del cual va seguido por la textura (arcilla 12.36, arena 3.81, limo 1.35), entonces la estabilidad (9.60), este patrón indica que el primer componente refleja un gradiente de fertilidad y estructura del suelo, en el cual la porosidad y la materia orgánica juega un papel determinante. Un mayor contenido de materia orgánica favorece la formación de agregados estables y aumenta la capacidad de retención de agua, lo que a su vez incrementa la porosidad y

mejora las condiciones físicas del suelo, la fuerte contribución de la textura (arcilloso) sugiera que la composición granulométrica también condiciona las funciones ecológicas del suelo y la disponibilidad de nutrientes.

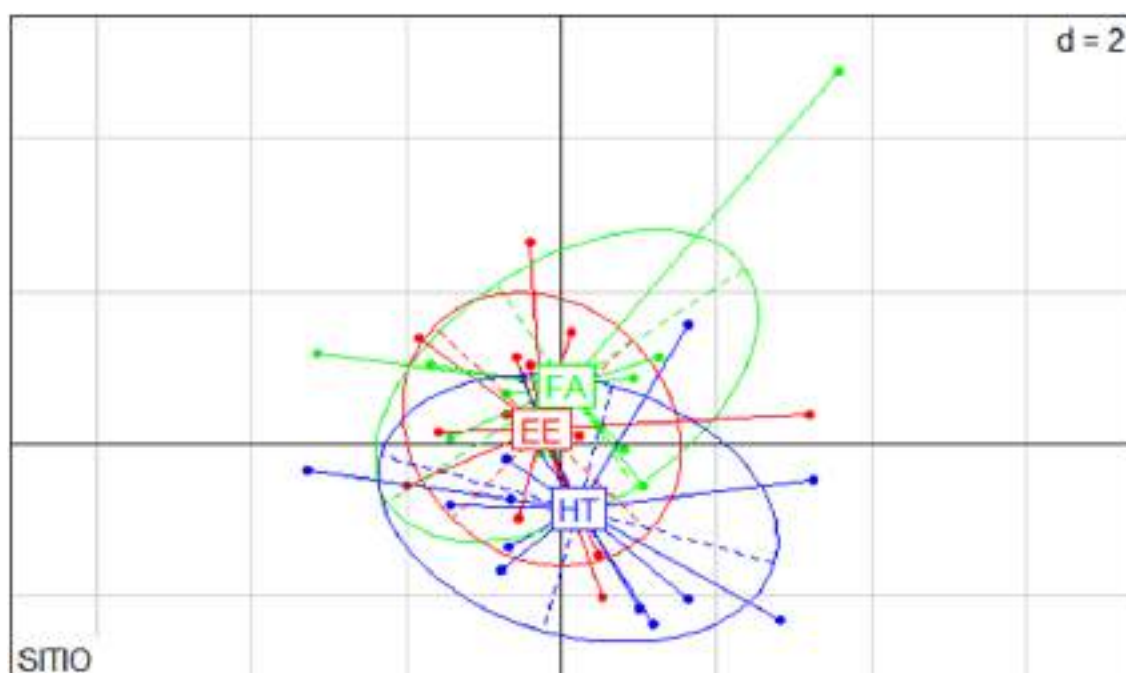
El eje 2 refleja las variables con mayor peso los cuales fueron la densidad aparente (21.40), la porosidad (16.54), la humedad (9.14) y la densidad real (9.81), además la estabilidad (10.13), en este eje se representa claramente un gradiente de compactación e hidratación del suelo, valores altos de densidad aparente y baja porosidad suelen estar asociados a suelos compactados, con menor circulación de aire y agua, lo que limita el desarrollo radicular y la actividad biológica. Sin embargo, la asociación de humedad y estabilidad en este componente también demuestra que en ciertas áreas existe una mayor variación en la retención de agua y resistencia estructural, posiblemente relacionada con prácticas de manejo.

En contexto estos resultados nos demuestran que la porosidad, la materia orgánica y la densidad son variables críticas para explicar las diferencias entre áreas productivas, la alta contribución de la porosidad en ambos ejes confirma que esta propiedad es un indicador sensible de la calidad física del suelo, mientras que la materia orgánica acciona como un motor de la fertilidad y estabilidad edáfica.

#### **6.10 Agrupación de sitios de muestreo en función físico-químicas del suelo**

El análisis de componentes principales (PCA) muestra las tres áreas evaluadas (FA, EE y HT) representan diferencias en la distribución de acuerdo con las variables físico-químicas, como se muestra en la figura 12. Aunque se evidencia cierto traslape entre los grupos, cada sitio se conserva con particularidades que los diferencian.

La Finca Agroecológica (FA-verde) se agrupa de forma más homogénea, refleja un manejo más estable. La Estación Experimental Raúl René Valle (EE-rojo) se presenta una mayor dispersión, lo que indica una variabilidad mucho más amplia en sus condiciones edáficas. Por otro lado, Horticultura (HT-azul) aparece más compacta, lo cual sugiere uniformidad en sus propiedades del suelo.



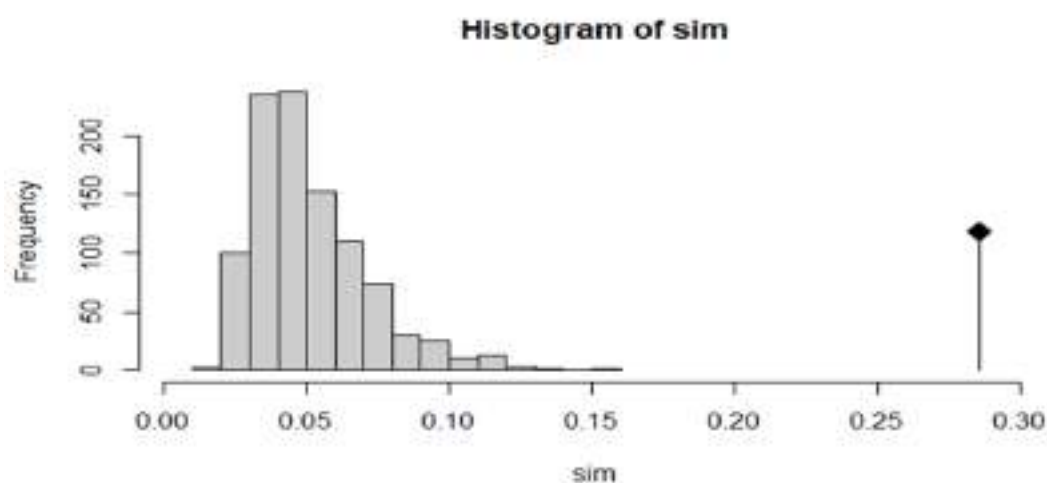
**Figura 12** PCA de la distribución físico-químicos del suelo.

La intersección entre sitios muestra que, existe diferencias en las prácticas de manejo, los suelos comparten ciertas características edáficas, a mayor distribución de la FA puede atribuirse al uso de prácticas orgánicas y sostenibles, que generan la mayor diversidad en la estructura y la fertilidad del suelo. Por el contrario, la homogeneidad de HT se debe al manejo intensivo y tecnificado, donde las prácticas de fertilización y riego tienden a uniformizar las propiedades del suelo, en cuanto a la posición intermedia de EE, se refleja la influencia de un manejo convencional con uso de maquinaria y agroquímicos, lo cual genera variabilidad en aspectos como la densidad aparente y los nutrientes.

Los resultados refuerzan la idea de que las prácticas agrícolas tienen un impacto directo sobre la dinámica del suelo y, en consecuencia, sobre la disponibilidad de hábitats para la macrofauna edáfica. Las visualizaciones en el PCA se confirmaron mediante la prueba de Monte Carlo, la cual arrojó un valor de  $p = 0.003$ , altamente significativo, lo cual evidencio que la separación entre los sitios no es al azar sino consecuencias de diferencias reales en sus características físico-químicas. En consecuencia, el resultado respalda que los sistemas de manejo aplicados en cada área ya sea agroecológico, intensivo o experimental influyen de manera directa en la estructura y funcionamiento del suelo, determinando su heterogeneidad y estabilidad en el tiempo.

### 6.11 Análisis de coinerencia entre variables de macrofauna y físico químicas del suelo

La figura 13 representa el histograma de los valores simulados obtenidos a partir de 999 permutaciones en el test de Monte Carlo, comparados con el valor observado indicado con el rombo negro (♦). En el eje **X** se representan los valores simulados del estadístico de prueba (sim), mientras que en el eje **Y** se muestra la frecuencia de ocurrencia de cada valor durante las simulaciones.



**Figura 13** Distribución de la Simulación del test de permutación de físico-químicos.

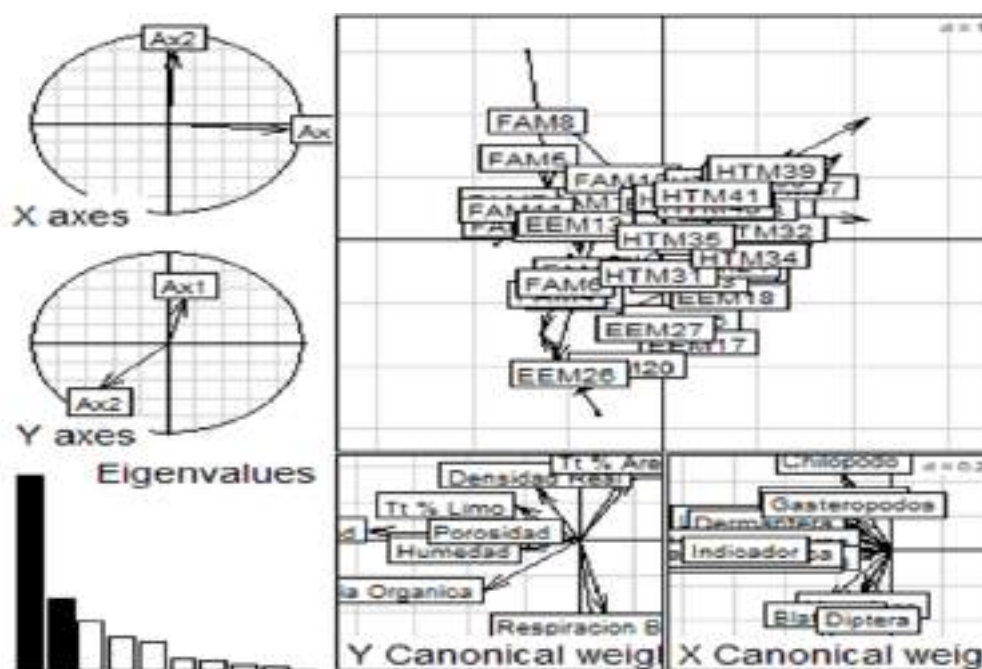
La disposición obtenida se refleja el patrón esperado si no existiera una relación significativa entre ambas matrices de datos. El valor observado (indicado por el rombo negro) se ubica aproximadamente en **0.29**, lo cual contrasta fuertemente con el rango central de los valores simulados, que se concentran entre **0.03 y 0.10**, y el valor observado se encuentra muy alejado del cuerpo principal de la distribución simulada.

Esto indica que la relación encontrada entre la macrofauna edáfica y las propiedades físico-químicas del suelo no es atribuible al azar. En términos estadísticos, este resultado muestra que el grado de coestructura entre ambas matrices es significativamente mayor al esperado bajo la hipótesis nula. La baja frecuencia de valores simulados que se aproximen al observado respalda la solidez del modelo, aportando evidencia de que las variaciones en la abundancia y diversidad de la macrofauna responden de manera estructurada a las características físicas-químicas del suelo.

## 6.12 Gráfico de co-inercia

La figura 14 representa el gráfico del análisis de co-inercia que este integra lo que está relacionado con datos de macrofauna edáfica y las propiedades físico-químicas del suelo según lo encontrado en las muestras. Esto nos permite comprender cómo se relacionan ambas variables y cómo se distribuyen las muestras en función de esta estructura.

En el panel central, se visualiza la proyección de las muestras *FAM*, *HTM* y *EEM* en el espacio bidimensional por los ejes canónicos 1 y 2, que nos representan la máxima variación entre las matrices. Las muestras de la finca agroecológica (*FAM*) tienden a ubicarse hacia el lado izquierdo del gráfico, especialmente *FAM8* y *FAM5*, indicando una mayor asociación con variables biológicas como son las lombrices, termitas, dermápteros y el indicador taxonómico.



**Figura 14** Gráfico de co-inercia entre propiedades físico-químicas del suelo y grupos de macrofauna edáfica en las áreas de estudio.

Al contrario, las muestras de la estación experimental (EEM) *EEM27* y *EEM28* aparecen hacia los extremos opuestos, reflejando condiciones edáficas menos favorables al ambiente. En el panel inferior izquierdo, se proyectan las variables físico-químicas (con el eje “Y Canonical weight”), se observa que la materia orgánica, la porosidad, la



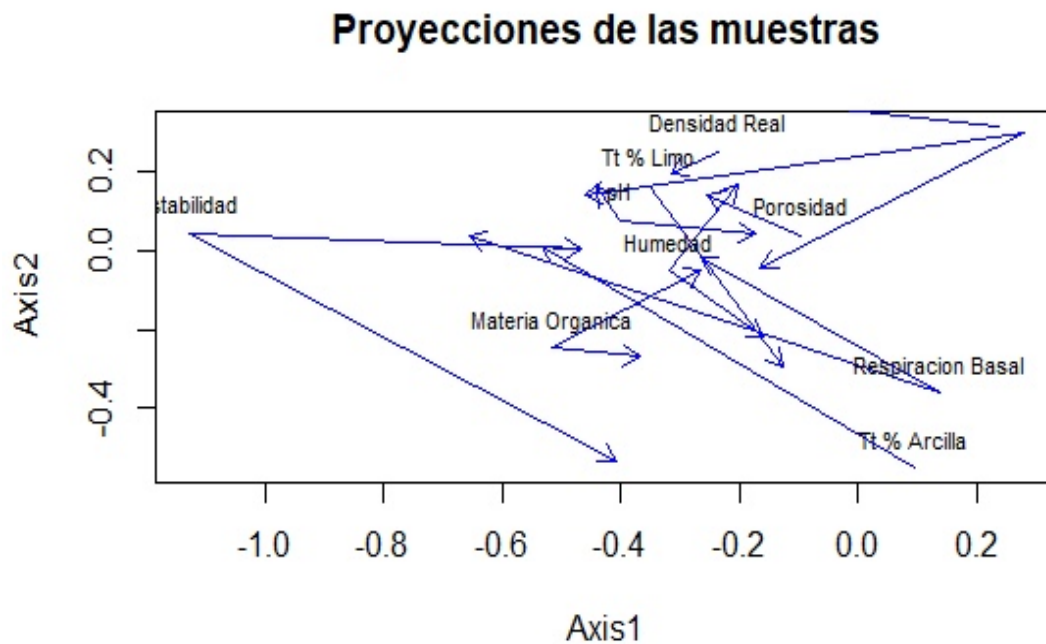
humedad y la respiración basal están fuertemente asociadas y se proyectan en direcciones similares, lo que indica que estas variables están correlacionadas entre sí y hay una fuerte posibilidad de favorecen la presencia de macrofauna, en el panel inferior derecho, se muestran las variables de macrofauna (eje "*X Canonical weight*"), destacando fuertemente que los gasterópodos, dermápteros y chilopodos como indicadores biológicos que responden a los gradientes edáficos definidos por las variables anteriores.

También se muestran los círculos de los ejes X, Y muestran que los ejes seleccionados del análisis de coinerencia están así mismos alineados, lo que confirma que existe una estructura fuerte entre ambos bloques de datos, también al finalizar se muestra lo que es el histograma de valores propios (eigenvalues) nos demuestra que los dos primeros ejes contienen lo que es una mayor parte de la información estructural compartida entre macrofauna y suelo, lo que justifica la interpretación dentro del plano bidimensional.

### **6.13 Gráfica con flechas, análisis de proyección co-inercia entre macrofauna y variables físico-Químicas**

La figura 15 es una representación gráfica del análisis de coinerencia, en la que las flechas se conectan junto a las muestras desde su posición en el espacio del PCA de la macrofauna hasta la posición que es correspondiente en el espacio del PCA de las variables físico-químicas utilizadas, esta visualización nos permite observar lo que es el grado de concordancia o discrepancia entre ambos conjuntos de datos para cada muestra.

Las flechas cortas y alineadas nos indican una alta correspondencia entre la macrofauna edáfica y las propiedades del suelo, mientras que las flechas más largas o que cambian de dirección nos marcan desajustes entre ambas estructuras, lo que nos refleja particularidades del manejo del suelo



**Figura 15** Gráfica de flechas proyección de co-inercia.

Las condiciones que son micro ambientales, o procesos biológicos locales, en los dos primeros ejes, variables como materia orgánica, humedad, respiración basal, porosidad y % de arcilla tienden a siempre agruparse en una misma dirección, lo cual nos sugiere que estos factores físico-químicos están positivamente asociados a la presencia y diversidad de la macrofauna, la orientación de las flechas también nos sugiere que las variables como la estabilidad de agregados están más relacionadas con muestras cuyos patrones de macrofauna son distintos al resto.

Esta dirección y la agrupación de los vectores edáficos revela que el gradiente estructural de salud del suelo se extiende principalmente a lo largo del eje PC1. Aquellas muestras cuya proyección cambia drásticamente de dirección entre ambos espacios podrían mostrar condiciones edáficas atípicas o un desacople temporal entre la estructura biológica y la fisicoquímica del suelo, conjunto, esta representación confirma que existe una fuerte relación estructural observable entre la macrofauna edáfica y las propiedades del suelo.

## 6.14 Prueba de permutación (Monte Carlo test)

La evaluación de la relación estructural que se observa entre las composiciones de la macrofauna edáfica y las propiedades físico-químicas del suelo (tabla 2), esto es estadísticamente significativo, de igual forma se aplicó una prueba de permutación de Monte Carlo con 999 repeticiones, esta prueba es el contraste del valor observado del análisis de coinerencia con la distribución que se obtuvo mediante permutaciones aleatorias de los datos, con el mismo observamos un valor de la coinerencia que fue de 0.1421. El resultado nos arrojó un valor p simulado de 0.508, lo cual indica que la probabilidad de obtener una coinerencia igual o mayor a la observada por simple azar es del 50.8.

**Tabla 7** Prueba de permutación Monte Carlo, macrofauna y físico-químicos.

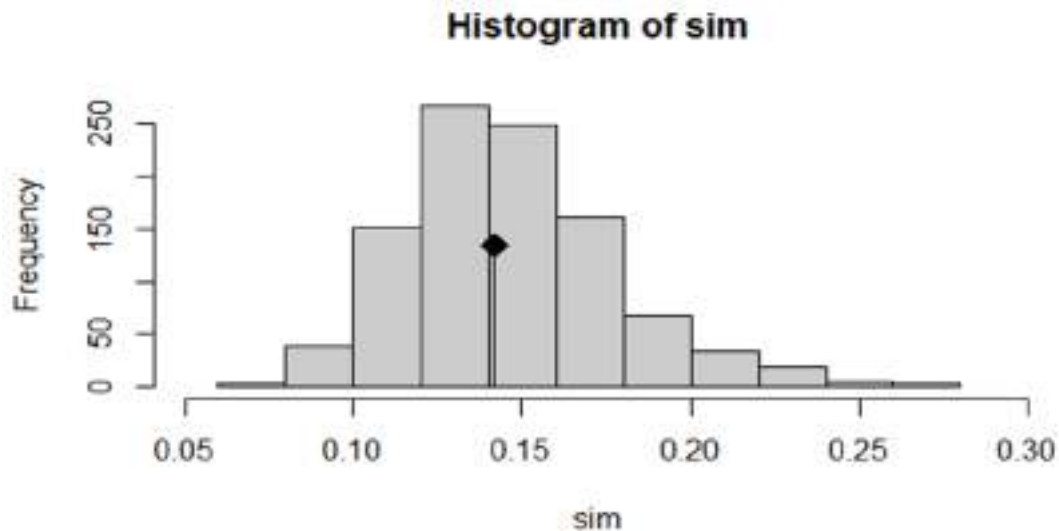
| Parámetro          | Valor       |
|--------------------|-------------|
| Observación        | 0.1420597   |
| Valor p simultaneo | 0.508       |
| Std.obs            | -0.13327872 |
| Expectativa        | 0.146211681 |
| Diferencia         | 0.000970507 |

Este resultado sugiere que, aunque se observa cierta correspondencia visual y estructural entre las variables biológicas y edáficas, la fuerza de dicha relación no es lo suficientemente elevada como para considerarse estadísticamente significativa según la prueba aplicada. Esto puede deberse a diversos factores, como la alta variabilidad interna en los datos, la influencia de variables no medidas o el desacople temporal entre las condiciones físicas del suelo y la respuesta de la macrofauna encontrada.

## 6.15 Gráfico del test de coinerencia

La figura 16 representa las distribuciones simuladas de la covariancia que se esperaba entre matrices de macrofauna y suelo bajo la hipótesis nula, esta fue generada mediante 999 permutaciones aleatorias, en contexto de este, se esperaba que, si no existiera relación estructural entre ambas matrices, y que los valores se distribuyan de manera aleatoria dentro del rango que se puede observar observado, el valor observado de la coinerencia (0.1421) aparece representado por el punto negro (♦) en el centro del histograma, como se puede observar en la fig. 22, dicho valor cae justo dentro del rango de mayor frecuencia

de los valores simulados que se obtienen, lo que indica que la estructura observada no se diferencia en forma significativa de lo que se esperaría por azar.



**Figura 16** Prueba de permutación de coinerencia.

Este resultado es coherente con el valor  $p = 0.508$  obtenido en la prueba de Monte Carlo, si bien existieran patrones ecológicos sugerentes en el análisis de coinerencia, no hay evidencia estadística suficiente para afirmar que la relación entre la macrofauna y las propiedades del suelo sea significativamente mayor a la esperada por azar, sin embargo, el gráfico también muestra que el valor observado no es un valor extremo ni atípico, por lo que su interpretación sigue siendo válida en términos exploratorios.

## VII. CONCLUSIONES

Se identificó una diversidad muy notable de los organismos de macrofauna edáfica en las diferentes áreas productivas, en los cuales se incluyen grupos como lombrices, termitas, coleópteros, gasterópodos y chilopodos. Esta diversidad refleja el estado del suelo en cada sitio evaluado dentro de la Universidad Nacional de Agricultura, de esta forma se demostró que la finca agroecológica presentó una mayor riqueza y variedad de taxa en comparación con las otras áreas productivas.

La composición y la abundancia de macrofauna edáfica demostró una relación directa con los sistemas de manejo y uso del suelo. El área que implementan prácticas sostenibles y mantiene una mayor cobertura vegetal, es la finca agroecológica, reflejaron una mayor actividad biológica debido a sus buenas prácticas orgánicas. Por el contrario, los sistemas más convencionales, como la estación experimental Raúl Rene Valle, evidenciaron una menor diversidad de macrofauna, lo que evidencia que las prácticas agrícolas impactan significativamente en la macrofauna del suelo.

Al integrar los datos de diversidad de la macrofauna con las propiedades físico-químicas del suelo, fue posible evaluar el estado de salud del suelo en cada área productiva. La Finca Agroecológica resaltó por presentar condiciones mucho más favorables, reflejadas en una mayor diversidad de macrofauna y en mejores indicadores edáficos en comparación con las demás áreas. Al contrario, los sitios bajo manejo más intensivo evidenciaron signos de degradación, compactación del suelo y menor cobertura vegetal, lo que influyó negativamente en la diversidad de organismos. Estos resultados confirman que la macrofauna edáfica, en conjunto con los parámetros físico-químicos, constituye una herramienta válida y eficaz para valorar la calidad y sostenibilidad del suelo.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

Se sugiere que, en unas futuras investigaciones, un estudiante se enfoque en realizar un solo muestreo en un área específica, por ejemplo, en la Finca Agroecológica se puede realizar un mayor número de monolitos. Esto permitirá tener un conteo más representativo de la macrofauna edáfica, y reducir la variabilidad de los resultados y fortalecer la interpretación de la relación entre la biodiversidad y las condiciones del suelo.

Se recomienda el mejoramiento de herramientas más adecuadas para la extracción de los monolitos del suelo, como la elaboración de un cuadrante metálico con dimensiones de 25 x 25 cm y 10 cm de profundidad. Así este instrumento permitirá obtener bloques de suelo más uniformes, y facilitaría la manipulación y extracción en campo y garantizar un conteo más preciso de la macrofauna edáfica.

Se plantea que en estudios futuros se integren análisis morfológicos del suelo, como la descripción de estructura y consistencia. Estos parámetros permitirán complementar la información obtenida de la macrofauna, proporcionando una visión integral de la salud del suelo y facilitando la interpretación de la relación entre las condiciones físicas y la biodiversidad edáfica.

Es aconsejable que en la Estación Experimental Raúl Rene Valle y en el área de Horticultura se implementen unas mejores técnicas y prácticas de uso y tratamiento del suelo, esto incluye la aplicación de abonos orgánicos, el manejo adecuado de residuos de cosecha, la rotación de cultivos y la reducción en el uso de agroquímicos y pesticidas. Estas acciones contribuirían a mejorar la estructura del suelo, incrementar la diversidad de macrofauna y garantizar una producción agrícola más sostenible dentro de la universidad.

Resulta pertinente que se incorporen variables adicionales y más específicas para una mayor verificación de la salud del suelo, tales como indicadores microbiológicos, actividades enzimáticas, conductividad eléctrica o contenido de nutrientes esenciales. La incorporación de las variables permitiría un mayor complemento de los datos de la macrofauna y generar una evaluación más integral y precisa del estado de los suelos en las áreas productivas de la UNAG.

Es recomendable que estos tipos de investigación se realice también en fincas externas a la universidad, de esta forma, se podrá contrastar la información obtenida en la UNAG con distintos sistemas de producción agrícola, lo que permitiría validar los resultados, identificar patrones más generales y generar propuestas de manejo sostenible aplicables a realidades productivas fuera del ámbito académico.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bautista, F., Huerta, & George, B. (2011). (en línea) Técnicas de muestreo para el estudio del manejo de recursos naturales. En *Macroinvertebrados del suelo y lombrices de tierra* (págs. 449-475). Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/255172717\\_Macroinvertebrados\\_del\\_suelo\\_y\\_lombrices\\_de\\_tierra](https://www.researchgate.net/publication/255172717_Macroinvertebrados_del_suelo_y_lombrices_de_tierra)

Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., & Patron, J. (2001). (en línea) Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. In *Acta Zoológica Mexicana* (Vol. 1, pp. 1–79). Disponible en: <https://revistasgeotech.com/index.php/abc/article/view/404/446#:~:text=Grupos%20funcionales%20de%20la%20macrofauna,Omn%C3%advoros.>

Brown, G., Fragoso, C., Patron, J., & Moreno, A. (2001). (en línea) diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. In a. G. Moreno (ed.), *diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos* (pp. 2–32). 2001. Disponible en: [https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI\\_SistFiloBioDiverAntrop/julian\\_bueno/Brown2001.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_SistFiloBioDiverAntrop/julian_bueno/Brown2001.pdf)

Cabrera, G. (2012). (en línea) consultado el 3 octubre de 2024. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. In *Estación Experimental de Pastos y Forrajes* (Vol. 35, pp. 1–16). 2012. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269125514007.pdf>

Cabrera, G. De la C. (2019). (en línea) consultado el 5 de octubre de 2024. *Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba* [Instituto de Ecología y Sistemática]. Disponible en: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88889/1/tesis\\_grisel\\_de\\_la\\_caridad.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88889/1/tesis_grisel_de_la_caridad.pdf)

Cabrera, G., Sánchez, J., & León, D. (2022). (en línea) Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, 221, 1–21. Disponible en: <https://revistasgeotech.com/index.php/abc/article/view/404>

Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., y Rojas-González, S. (2018) (en línea). *Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. Orinoquia*, 22(2), 141–157. Disponible en: <https://orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/524>



Castellanos, G., Fuentes, Y., & Mondragón, Y. (2019). (en línea) Comparación de la eficacia de tres antagonistas comerciales para el control de *Plasmodiophora brassicae* Woronin en condiciones de laboratorio. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22–28. Disponible en: <https://doi.org/10.24054/cyta.v4i1.90>

Cortes, P., & Osorio Álvaro. (2019). (en línea) consultado el 8 de octubre de 2024. Efectividad de cuatro prácticas agroecológicas de conservación de suelos, frente a procesos erosivos hídricos en Guasca – Cundinamarca. *Revista Lasallista De Investigación*, 16, 47–61. Disponible en: <https://doi.org/10.22507/rli.v16n1a11>

Crossley, D., Mueller, B., & Perdue, J. (2019). (en línea) Biodiversity of Microarthropods in Agricultural Soils: Relations to Processes. Agriculture, Ecosystems & Environment. *Agricultural Sciences*, 10(2), 37–46. Disponible en: <https://www.scirp.org/journal/home?Journalid=191>

Eliana Hurtado Lugo, E. V. (2024). (en línea) A global indicator of soil macroinvertebrate community composition, abundance and diversity. Palmira, Colombia. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/377038310\\_A\\_global\\_indicator\\_of\\_soil\\_macroinvertebrate\\_community\\_composition\\_abundance\\_and\\_diversity](https://www.researchgate.net/publication/377038310_A_global_indicator_of_soil_macroinvertebrate_community_composition_abundance_and_diversity)

E. Sarmiento, S. Fandiño, & L. Gómez. (2018). (en línea) consultado el 12 de octubre de 2024. Índices de calidad del suelo, una revisión sistemática. In S. E (Ed.), *asociación española de ecología terrestre* (ecosistemas, pp. 2–11). 2018. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/1598/1154/0>

Granados, F., & Giraldo, V. H. (2020). (en línea) Alternativas biológicas para el manejo de la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Povolny), como contribución a la producción limpia de la papa, en Suramérica. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 79–82. Disponible en: <https://doi.org/10.24054/cyta.v5i2.8>

Rationally, R. S. (2023, January 26). (en línea) consultado el 16 de octubre de 2024. *Mesofauna y macrofauna del suelo; olvidados imprescindibles*. 2023. Disponible en: <https://rrsoil.com/mesofauna-y-macrofauna-del-suelo-olvidados-imprescindibles/>

Rosas, M. (2013). (en línea) consultado el 18 de octubre de 2024. Sistemas Productivos Sostenibles y biodiversidad. *CONABIO*, 10–13. Disponible en: [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/smart\\_territories/docs/biodiv110art3.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/smart_territories/docs/biodiv110art3.pdf)

Sánchez, S., & Reines, M. (2001). (en línea) *papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos* (M. Reines, Ed.; Pastos y Forrajes, Vol. 24). 2001. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Sanchez-y-Reines-2001.pdf>

Sandoval, L. (2019). (en línea) consultado el 22 de octubre de 2024. *Macrofauna edáfica como indicadores en los tres diferentes usos de suelo (agrícola, pecuario, bosque) en la Estación Biológica Francisco Guzmán Pasos de la UNAN-Managua FAREM-Chontales*. [Universidad nacional autónoma de nicaragua, managua facultad regional multidisciplinaria de chontales “cornelio silva arguello”]. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/11152/3/11216.pdf.pdf>

Santiago, B., Martínez, M., Rubio, E., Vaquera, H., & Sánchez, J. (2018). (en línea) consultado el 25 de octubre de 2024. Variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema lama-bordo en la Mixteca Alta de Oaxaca, México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?>

Torres, L., Gonzales, A., & Castellanos, L. (2024). (en línea) Impacto de diferentes prácticas agrícolas sobre las características fisicoquímicas del suelo: un análisis crítico. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*, 15(1), 1–16. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/380572085\\_Impacto\\_de\\_diferentes\\_practicas\\_agricolas\\_sobre\\_las\\_caracteristicas\\_fisicoquimicas\\_del\\_suelo\\_un\\_analisis\\_critico](https://www.researchgate.net/publication/380572085_Impacto_de_diferentes_practicas_agricolas_sobre_las_caracteristicas_fisicoquimicas_del_suelo_un_analisis_critico)

Valdés, D., & Avalos, H. (2015). (en línea) consultado el 27 de octubre de 2024. Suelos, bases para su manejo y conservación. In E. Patron (Ed.), *Suelos, bases para su manejo y conservación* (1st ed., Vol. 1, pp. 5–44). Disponible en: [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers16-07/010067297.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-07/010067297.pdf)

Vallejo, V. (2013). (en línea) consultado el 5 de noviembre de 2024. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1), 83–99. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3955>

García, Wendy Ramírez, & Saray Sánchez. (2012). (en línea) consultado el 8 de noviembre de 2024. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. In I. Hatuey (Ed.), *Pastos y Forrajes* (2nd ed., Vol. 35, pp. 1–14). 2012. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n2/pyf01212.pdf>

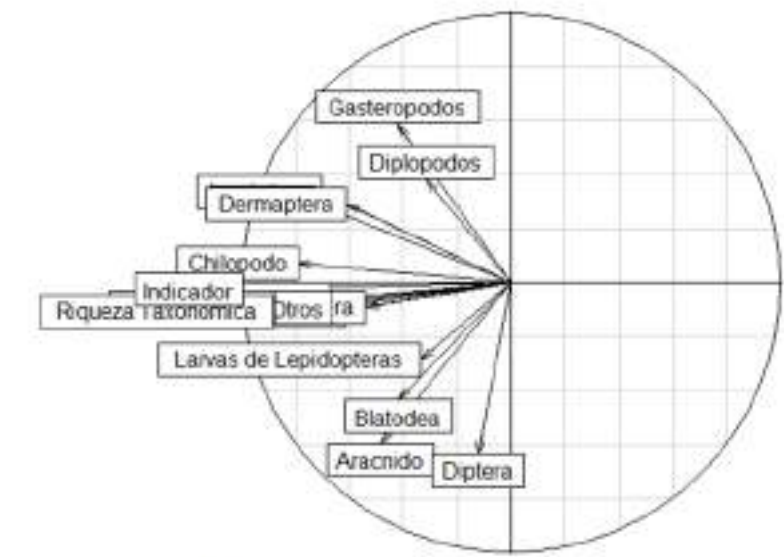
Hernán Burbano-Orjuela. (2016). (en línea) El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de ciencias agrícolas*, 33(2), 1–8. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>

# ANEXOS

**Anexo 1** *Coordenadas de muestra Finca Agroecológica, Estación Experimental Raúl Rene Valle y Horticultura*

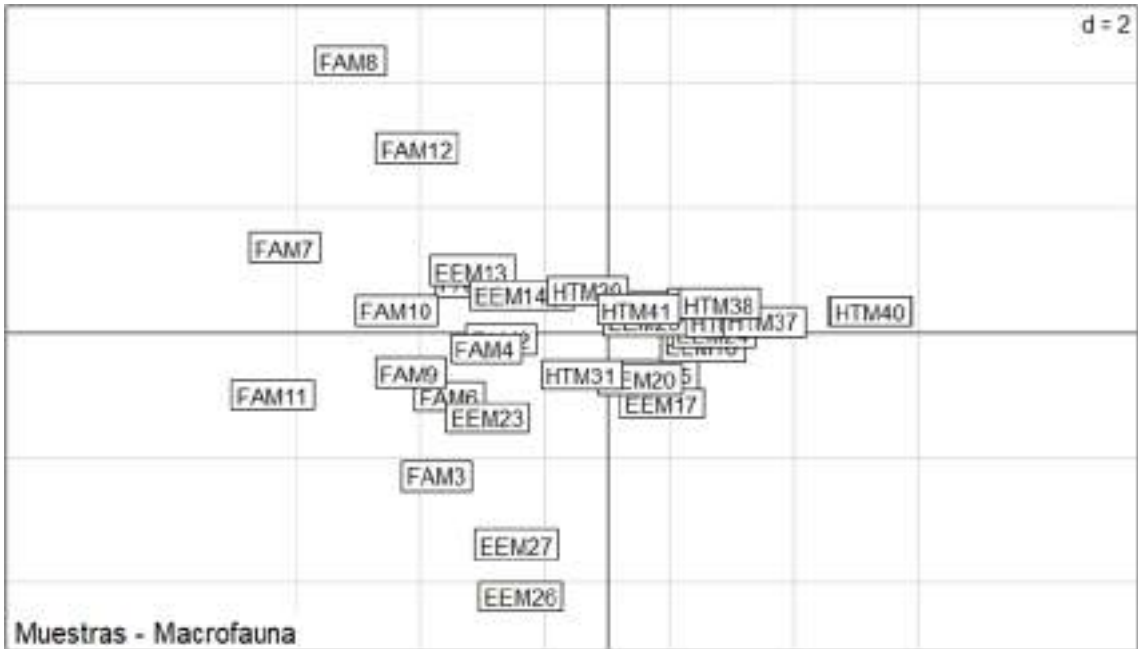
| Nº muestra | X           | Y            |
|------------|-------------|--------------|
| FAM1       | 624581.4223 | 1640908.8316 |
| FAM2       | 624563.1539 | 1640973.2686 |
| FAM3       | 624530.6241 | 1640905.4957 |
| FAM4       | 624509.3509 | 1640972.9902 |
| FAM5       | 624476.5186 | 1640963.6016 |
| FAM6       | 624407.7229 | 1640972.4646 |
| FAM7       | 624407.7229 | 1640972.4646 |
| FAM8       | 624362.9347 | 1640963.0143 |
| FAM9       | 624320.9926 | 1640981.2352 |
| FAM10      | 624264.4227 | 1640937.9220 |
| FAM11      | 624315.4272 | 1640901.3102 |
| FAM12      | 624363.2523 | 1640901.5573 |
| EEM13      | 624354.6344 | 1640833.9083 |
| EEM14      | 624366.9559 | 1640763.2946 |
| EEM15      | 624399.9946 | 1640732.7360 |
| EEM16      | 624439.0434 | 1640696.0627 |
| EEM17      | 624406.4969 | 1640631.3629 |
| EEM18      | 624436.6262 | 1640585.4246 |
| EEM19      | 624424.9556 | 1640530.0515 |
| EEM20      | 624472.8609 | 1640514.9345 |
| EEM21      | 624214.2272 | 1640817.8186 |
| EEM22      | 624262.2428 | 1640781.1913 |
| EEM23      | 624223.6702 | 1640725.6795 |
| EEM24      | 624274.6910 | 1640685.9947 |
| EEM25      | 624289.9696 | 1640621.5421 |
| EEM26      | 624341.0224 | 1640575.7118 |
| EEM27      | 624296.4556 | 1640523.2418 |
| HTM28      | 624237.1491 | 1640430.7478 |
| HTM29      | 624147.4912 | 1640427.2124 |
| HTM30      | 623978.7552 | 1640687.5416 |
| HTM31      | 624009.1210 | 1640595.5102 |
| HTM32      | 624088.0572 | 1640359.3015 |
| HTM33      | 624127.7818 | 1640771.2787 |
| HTM34      | 624092.3089 | 1640694.2726 |
| HTM35      | 624176.2729 | 1640642.4658 |
| HTM36      | 624137.7791 | 1640571.5899 |
| HTM37      | 624007.5090 | 1640328.1572 |
| HTM38      | 623962.8619 | 1640291.0522 |
| HTM39      | 623969.3939 | 1640183.5334 |
| HTM40      | 623987.6294 | 1640125.2417 |
| HTM41      | 623972.5571 | 1640149.7475 |

**Anexo 2** *Gráfico PCA para variables de macrofauna*



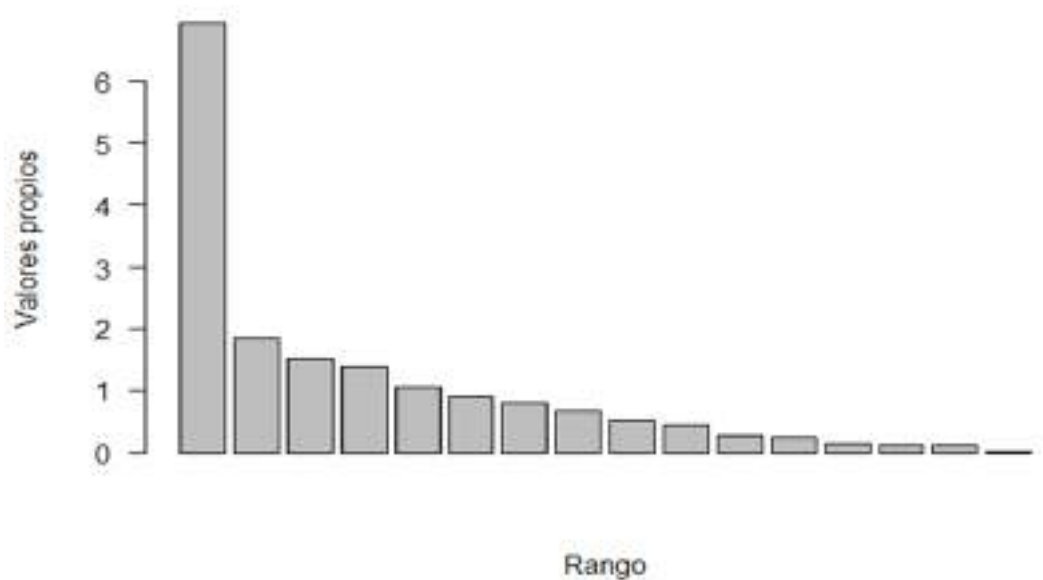
Variables - Macrofauna

**Anexo 3** *Distribución de las muestras de macrofauna edáfica según análisis de ordenación*

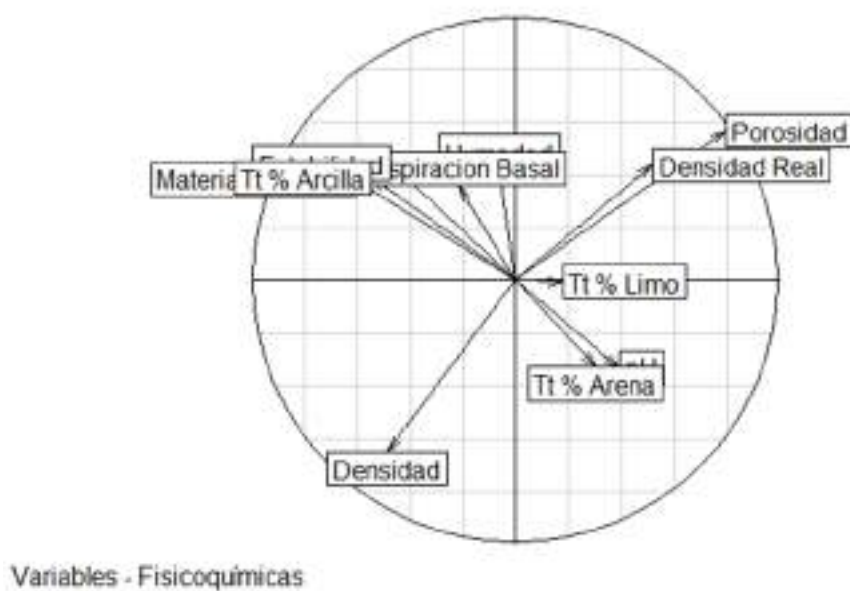


Muestras - Macrofauna

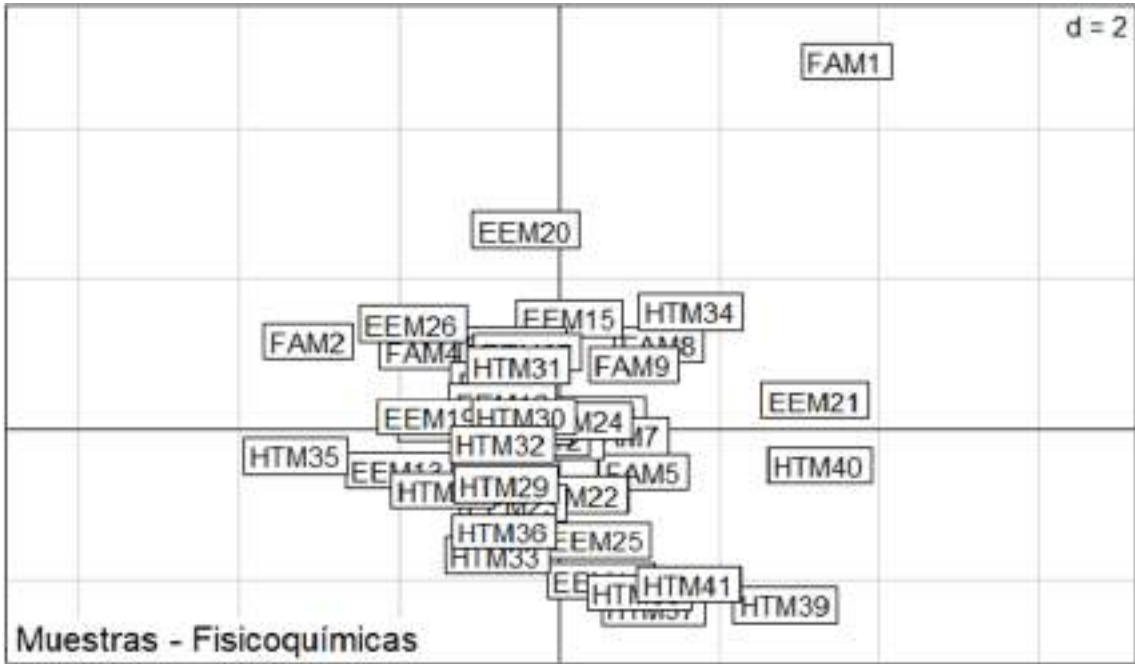
**Anexo 4** Gráfico de sedimentación de los valores propios obtenidos (PCA) de macrofauna.



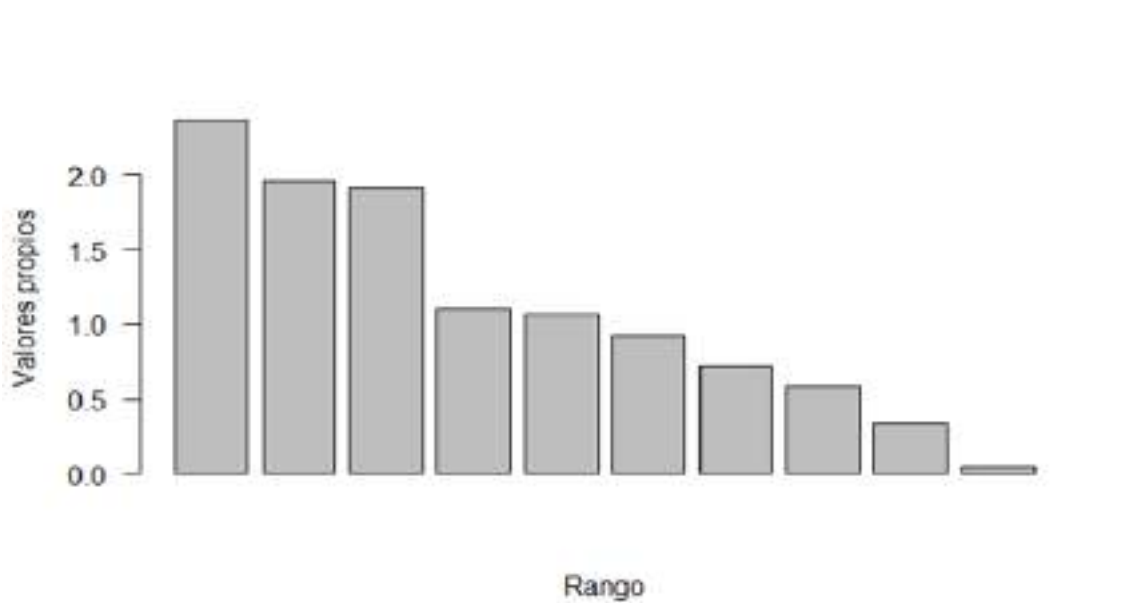
**Anexo 5** Círculo de correlaciones de las variables físico-químicas (PCA).



**Anexo 6** Ordenación de las muestras según las variables físico-químicas del suelo (PCA).



**Anexo 7** Gráfico de sedimentación de valores propios obtenidos (PCA) de las variables físico-químicas.



**Anexo 8** *Tabla de abundancia grupo taxonómico Finca Agroecológica.*

| Muestra | Lombri<br>ces<br>(EW) | Hormi<br>gas<br>(AN) | Termi<br>tas<br>(TE) | Blatód<br>ea<br>(BL) | Coleopt<br>era<br>(CO) | Arácn<br>i<br>do<br>(AR) | Diplóp<br>os<br>(DO) | Chilop<br>os<br>(CH) | Dipte<br>ra<br>(DL) | Hemipt<br>era<br>(HM) | Dermápt<br>era (DR) | Larvas<br>Lepidópte<br>ras (LE) | Gasteróp<br>os (GA) | Otr<br>os<br>(OT) | Densid<br>ad<br>Total<br>(DT) | Riqueza<br>Taxonó<br>mica<br>(RT) |
|---------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| M1      | 3                     | 3                    | 12                   | 15                   | 0                      | 2                        | 0                    | 0                    | 4                   | 0                     | 0                   | 0                               | 0                   | 0                 | 36                            | 5                                 |
| M2      | 2                     | 6                    | 37                   | 1                    | 0                      | 0                        | 0                    | 0                    | 6                   | 2                     | 0                   | 0                               | 0                   | 0                 | 54                            | 5                                 |
| M3      | 2                     | 0                    | 20                   | 1                    | 1                      | 2                        | 0                    | 0                    | 3                   | 0                     | 0                   | 0                               | 2                   | 1                 | 33                            | 8                                 |
| M4      | 4                     | 20                   | 30                   | 0                    | 5                      | 1                        | 0                    | 0                    | 3                   | 0                     | 0                   | 0                               | 0                   | 0                 | 63                            | 6                                 |
| M5      | 17                    | 10                   | 24                   | 0                    | 0                      | 0                        | 0                    | 0                    | 15                  | 1                     | 0                   | 0                               | 0                   | 0                 | 68                            | 6                                 |
| M6      | 6                     | 50                   | 10                   | 1                    | 0                      | 1                        | 0                    | 0                    | 7                   | 2                     | 0                   | 0                               | 0                   | 0                 | 77                            | 7                                 |
| M7      | 8                     | 5                    | 16                   | 0                    | 3                      | 2                        | 0                    | 0                    | 19                  | 3                     | 2                   | 0                               | 0                   | 11                | 70                            | 10                                |
| M8      | 18                    | 10                   | 40                   | 0                    | 0                      | 2                        | 4                    | 0                    | 45                  | 2                     | 1                   | 0                               | 0                   | 2                 | 121                           | 8                                 |
| M9      | 14                    | 0                    | 0                    | 0                    | 4                      | 1                        | 1                    | 1                    | 7                   | 1                     | 0                   | 0                               | 0                   | 4                 | 34                            | 6                                 |
| M10     | 5                     | 18                   | 9                    | 0                    | 1                      | 0                        | 0                    | 0                    | 5                   | 4                     | 4                   | 0                               | 0                   | 2                 | 48                            | 8                                 |
| M11     | 3                     | 62                   | 45                   | 0                    | 3                      | 0                        | 0                    | 0                    | 38                  | 0                     | 2                   | 0                               | 1                   | 3                 | 161                           | 10                                |
| M12     | 2                     | 8                    | 12                   | 0                    | 0                      | 0                        | 0                    | 0                    | 6                   | 1                     | 1                   | 1                               | 0                   | 2                 | 35                            | 8                                 |

**Anexo 9** *Tabla de abundancia grupo taxonómico con formula del indicador de macrofauna Finca Agroecológica.*

| MUESTRAS | EW     | AN     | TE     | BL     | CO     | AR     | DO | CH     | DL | HM     | DR     | LE     | GA     | OT     | DT     | RT     | INDICADOR |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|--------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| M1       | 30.931 | 38.397 | 21.915 | 0      | 29.793 | 0      | 0  | 36.476 | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 68.311 | 53.209 | 0.491     |
| M2       | 27.789 | 33.378 | 25.512 | 9.462  | 0      | 0      | 0  | 39.974 | 0  | 17.144 | 0      | 0      | 0      | 0      | 72.662 | 53.209 | 0.491     |
| M3       | 27.789 | 0      | 23.060 | 9.462  | 0      | 22.914 | 0  | 34.007 | 0  | 17.144 | 0      | 13.894 | 24.387 | 0      | 67.378 | 58.843 | 0.518     |
| M4       | 33.176 | 42.109 | 24.676 | 0      | 18.567 | 0      | 0  | 34.007 | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 74.316 | 55.391 | 0.548     |
| M5       | 44.582 | 37.075 | 23.786 | 0      | 24.141 | 0      | 0  | 47.926 | 0  | 13.892 | 0      | 0      | 0      | 0      | 75.136 | 55.391 | 0.551     |
| M6       | 36.358 | 48.781 | 20.303 | 9.462  | 18.567 | 0      | 0  | 41.308 | 0  | 17.144 | 0      | 0      | 0      | 0      | 76.470 | 57.240 | 0.556     |
| M7       | 38.624 | 32.063 | 22.171 | 0      | 22.914 | 0      | 0  | 49.984 | 0  | 19.082 | 0      | 0      | 18.555 | 44.555 | 75.447 | 61.526 | 0.714     |
| M8       | 45.034 | 37.075 | 25.823 | 0      | 34.047 | 0      | 0  | 57.502 | 0  | 9.326  | 0      | 0      | 18.555 | 30.097 | 81.324 | 58.843 | 0.657     |
| M9       | 43.045 | 0      | 0      | 11.677 | 18.567 | 23.108 | 0  | 41.308 | 0  | 13.892 | 0      | 0      | 35.932 | 27.698 | 67.698 | 58.843 | 0.607     |
| M10      | 34.925 | 41.343 | 19.885 | 9.462  | 0      | 0      | 0  | 38.399 | 0  | 20.468 | 13.742 | 0      | 0      | 30.500 | 71.397 | 58.843 | 0.574     |
| M11      | 30.931 | 50.349 | 26.293 | 0      | 22.914 | 0      | 0  | 56.026 | 0  | 17.144 | 11.510 | 11.259 | 0      | 33.500 | 84.310 | 61.526 | 0.715     |
| M12      | 27.789 | 35.458 | 21.027 | 0      | 0      | 0      | 0  | 39.974 | 0  | 13.892 | 9.326  | 0      | 25.488 | 30.097 | 68.009 | 58.843 | 0.562     |



**Anexo 10** *Tabla de abundancia grupo taxonómico Estación Experimental Raúl René Valle*

| Muestra | Lombrices (EW) | Hormigas (AN) | Termitas (TE) | Blatódora (BL) | Coleopteros (CO) | Arácnidos (AR) | Diplópodos (DO) | Chilópodos (CH) | Dípteros (DL) | Hemípteros (HM) | Dermápteros (DR) | Larvas de lepidópteros (LE) | Gasterópodos (GA) | Otros (OT) | Densidad total (DT) | Riqueza taxonómica (RT) |
|---------|----------------|---------------|---------------|----------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------------------|-------------------|------------|---------------------|-------------------------|
| M1      | 7              | 20            | 9             | 0              | 1                | 1              | 0               | 0               | 1             | 2               | 1                | 0                           | 0                 | 0          | 41                  | 7                       |
| M2      | 15             | 15            | 2             | 0              | 0                | 0              | 0               | 0               | 7             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 8          | 47                  | 5                       |
| M3      | 4              | 0             | 0             | 0              | 0                | 2              | 0               | 0               | 0             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 1          | 7                   | 3                       |
| M4      | 0              | 0             | 0             | 0              | 0                | 0              | 0               | 0               | 0             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 0          | 0                   | 0                       |
| M5      | 0              | 0             | 0             | 0              | 0                | 0              | 0               | 0               | 0             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 1          | 12                  | 3                       |
| M6      | 0              | 70            | 0             | 0              | 0                | 1              | 0               | 0               | 0             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 0          | 70                  | 1                       |
| M7      | 0              | 0             | 0             | 0              | 0                | 0              | 0               | 0               | 0             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 0          | 0                   | 0                       |
| M8      | 4              | 13            | 0             | 0              | 0                | 0              | 0               | 0               | 2             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 0          | 19                  | 6                       |
| M9      | 2              | 2             | 0             | 0              | 0                | 0              | 0               | 0               | 2             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 0          | 6                   | 3                       |
| M10     | 2              | 2             | 0             | 0              | 0                | 0              | 0               | 0               | 0             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 0          | 4                   | 2                       |
| M11     | 0              | 34            | 0             | 0              | 0                | 0              | 0               | 0               | 7             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 0          | 50                  | 6                       |
| M12     | 0              | 3             | 0             | 0              | 0                | 0              | 0               | 0               | 0             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 0          | 4                   | 2                       |
| M13     | 1              | 25            | 0             | 0              | 0                | 0              | 0               | 0               | 1             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 0          | 27                  | 3                       |
| M14     | 0              | 21            | 0             | 0              | 1                | 0              | 0               | 0               | 0             | 0               | 0                | 0                           | 0                 | 1          | 22                  | 6                       |
| M15     | 0              | 55            | 0             | 0              | 0                | 1              | 0               | 0               | 9             | 1               | 0                | 0                           | 0                 | 1          | 68                  | 6                       |

**Anexo 11** *Tabla de abundancia grupo taxonómico con formula del indicador de macrofauna Estación Experimental Raúl René Valle*

| MUESTRA | EW     | AN     | TE     | BL    | CO     | AR     | DO | CH     | DL     | HM     | DR     | LE | GA | OT     | DT     | RT     | INDICADOR |
|---------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|----|--------|--------|--------|--------|----|----|--------|--------|--------|-----------|
| M1      | 37.571 | 42.109 | 19.884 | 0     | 24.141 | 0      | 0  | 24.756 | 0      | 17.144 | 9.326  | 0  | 0  | 0      | 69.706 | 57.239 | 0.526     |
| M2      | 43.590 | 40.017 | 13.970 | 0     | 0      | 0      | 0  | 41.307 | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 41.831 | 71.171 | 53.208 | 0.527     |
| M3      | 33.176 | 0      | 0      | 0     | 0      | 22.914 | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 24.387 | 50.793 | 47.122 | 0.349     |
| M4      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0      | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 0.1       |
| M5      | 0      | 37.074 | 0      | 0     | 0      | 18.567 | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 24.387 | 56.544 | 47.122 | 0.357     |
| M6      | 0      | 51.233 | 0      | 0     | 0      | 0      | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 75.447 | 34.304 | 0.325     |
| M7      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0      | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 0.1       |
| M8      | 33.176 | 38.978 | 0      | 0     | 0      | 22.914 | 0  | 30.552 | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 61.461 | 47.122 | 0.385     |
| M9      | 27.788 | 25.511 | 0      | 0     | 0      | 0      | 0  | 30.552 | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 49.152 | 47.122 | 0.327     |
| M10     | 0      | 25.511 | 0      | 0     | 0      | 0      | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 44.851 | 42.336 | 0.300  | 0.1       |
| M11     | 0      | 45.971 | 0      | 9.462 | 0      | 18.567 | 0  | 41.307 | 0      | 0      | 12.811 | 0  | 0  | 35.931 | 71.835 | 55.391 | 0.507     |
| M12     | 0      | 28.395 | 0      | 0     | 0      | 0      | 0  | 24.756 | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 64.851 | 42.336 | 0.296     |
| M13     | 22.517 | 43.732 | 0      | 0     | 0      | 0      | 0  | 24.756 | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 65.226 | 47.122 | 0.384     |
| M14     | 0      | 38.978 | 0      | 9.462 | 24.141 | 18.567 | 0  | 36.475 | 20.068 | 0      | 0      | 0  | 0  | 24.387 | 63.031 | 57.239 | 0.509     |
| M15     | 0      | 49.475 | 0      | 0     | 0      | 18.567 | 0  | 43.486 | 20.068 | 13.891 | 0      | 0  | 0  | 24.387 | 75.136 | 55.391 | 0.520     |

**Anexo 12** *Tabla de abundancia grupo taxonómico Horticultura.*

| Muestra | Lombri<br>ces<br>(EW) | Hormi<br>gas<br>(AN) | Termit<br>as<br>(TE) | Blatód<br>ea<br>(BL) | Coleopt<br>era<br>(CO) | Arácn<br>ido<br>(AR) | Diplóp<br>idos<br>(DO) | Chilop<br>odos<br>(CH) | Dipte<br>ra<br>(DL) | Hemipt<br>era<br>(HM) | Dermápt<br>era (DR) | Larvas<br>de<br>Lepidopt<br>era (LE) | Gasteróp<br>odos (GA) | Otr<br>os<br>(OT) | Densid<br>ad<br>total<br>(DT) | Riqueza<br>taxonóm<br>ica (RT) |
|---------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| M1      | 3                     | 4                    | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 4                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 11                            | 3                              |
| M2      | 2                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 3                      | 0                   | 1                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 6                             | 3                              |
| M3      | 0                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 0                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 0                             | 0                              |
| M4      | 1                     | 48                   | 0                    | 0                    | 0                      | 1                    | 0                      | 7                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 57                            | 4                              |
| M5      | 0                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 0                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 0                             | 0                              |
| M6      | 0                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 0                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 4                             | 1                              |
| M7      | 1                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 0                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 1                             | 1                              |
| M8      | 0                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 4                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 4                             | 0                              |
| M9      | 0                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 2                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 2                             | 1                              |
| M10     | 0                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 1                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 1                             | 1                              |
| M11     | 1                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 1                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 2                             | 2                              |
| M12     | 1                     | 20                   | 38                   | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 0                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 60                            | 4                              |
| M13     | 0                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 0                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 0                             | 0                              |
| M14     | 3                     | 12                   | 0                    | 0                    | 0                      | 0                    | 0                      | 2                      | 0                   | 0                     | 0                   | 0                                    | 0                     | 0                 | 17                            | 3                              |

**Anexo 13** *Tabla de abundancia grupo taxonómico con formula del indicador de macrofauna Horticultura.*

| MUESTRA | EW     | AN     | TE     | BL | CO | AR     | DO | CH     | DL | HM     | DR | LE | GA | OT | DT     | RT     | INDICADOR |
|---------|--------|--------|--------|----|----|--------|----|--------|----|--------|----|----|----|----|--------|--------|-----------|
| M1      | 30.930 | 30.456 | 0      | 0  | 0  | 0      | 0  | 36.475 | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 55.614 | 47.122 | 0.380     |
| M2      | 27.788 | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 0  | 34.006 | 0  | 13.891 | 0  | 0  | 0  | 0  | 49.152 | 47.122 | 0.340     |
| M3      | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 0  | 0      | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0.1       |
| M4      | 22.517 | 48.483 | 0      | 0  | 0  | 18.567 | 0  | 41.307 | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 73.242 | 50.544 | 0.465     |
| M5      | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 0  | 0      | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0.1       |
| M6      | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 0  | 36.475 | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 44.851 | 34.304 | 0.261     |
| M7      | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 0  | 0      | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0.1       |
| M8      | 22.517 | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 0  | 30.552 | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 41.815 | 42.336 | 0.292     |
| M9      | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 0  | 39.973 | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 49.152 | 42.336 | 0.272     |
| M10     | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 0  | 24.756 | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 30.441 | 34.304 | 0.225     |
| M11     | 22.517 | 42.109 | 25.618 | 0  | 0  | 0      | 0  | 24.756 | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 37.568 | 42.336 | 0.278     |
| M12     | 22.517 | 42.109 | 25.618 | 0  | 0  | 0      | 0  | 24.756 | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 73.792 | 50.544 | 0.435     |
| M13     | 0      | 0      | 0      | 0  | 0  | 0      | 0  | 0      | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0.1       |
| M14     | 30.930 | 38.937 | 0      | 0  | 0  | 0      | 0  | 30.552 | 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 60.270 | 47.122 | 0.390     |

**Anexo 14** *Tabla de humedad Finca Agroecológica.*

| <b>N°<br/>Lab</b> | <b>Peso húmedo<br/>+ anillo g</b> | <b>Peso seco +<br/>anillo g</b> | <b>Peso anillo<br/>g</b> | <b>Peso<br/>húmedo</b> | <b>Peso<br/>seco</b> | <b>%<br/>humedad</b> |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| 87                | 293.57                            | 253.01                          | 75.21                    | 218.36                 | 177.8                | 22.81                |
| 88                | 311.21                            | 275.14                          | 76.03                    | 235.18                 | 199.11               | 18.12                |
| 89                | 296.83                            | 262.04                          | 71.96                    | 224.87                 | 190.08               | 18.30                |
| 96                | 302.12                            | 256.27                          | 73.55                    | 228.57                 | 182.72               | 25.09                |
| 119               | 326.89                            | 279.47                          | 76.18                    | 250.71                 | 203.29               | 23.33                |
| 120               | 349.28                            | 296.38                          | 77.71                    | 271.57                 | 218.67               | 24.19                |
| 125               | 295.72                            | 264.13                          | 75.43                    | 220.29                 | 188.7                | 16.74                |
| 126               | 288.81                            | 247.25                          | 73.48                    | 215.33                 | 173.77               | 23.92                |
| 131               | 297.29                            | 262.63                          | 77.69                    | 219.6                  | 184.94               | 18.74                |
| 132               | 300.7                             | 267.56                          | 75.94                    | 224.76                 | 191.62               | 17.29                |
| 134               | 305.54                            | 272.63                          | 73.37                    | 232.17                 | 199.26               | 16.52                |
| 135               | 287.25                            | 262.9                           | 71.8                     | 215.45                 | 191.1                | 12.74                |

**Anexo 15** *Tabla de humedad Estación Experimental Raúl René Valle*

| <b>N°<br/>Lab</b> | <b>Peso<br/>húmedo +<br/>anillo g</b> | <b>Peso seco +<br/>anillo g</b> | <b>Peso anillo<br/>g</b> | <b>Peso<br/>húmedo</b> | <b>Peso<br/>seco</b> | <b>%<br/>humedad</b> |
|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| 319               | 331.68                                | 295.81                          | 76.15                    | 255.53                 | 219.66               | 16.33                |
| 320               | 294.12                                | 273.11                          | 71.09                    | 223.03                 | 202.02               | 10.40                |
| 321               | 324.69                                | 261.22                          | 77.65                    | 247.04                 | 183.57               | 34.58                |
| 322               | 295.76                                | 273.37                          | 75.96                    | 219.8                  | 197.41               | 11.34                |
| 323               | 301.13                                | 267.81                          | 74.79                    | 226.34                 | 193.02               | 17.26                |
| 324               | 283.07                                | 267                             | 75.27                    | 207.8                  | 191.73               | 8.38                 |
| 325               | 308.32                                | 282.19                          | 75.27                    | 233.05                 | 206.92               | 12.63                |
| 326               | 298.69                                | 255.47                          | 71.85                    | 226.84                 | 183.62               | 23.54                |
| 329               | 298.69                                | 260.29                          | 75.01                    | 223.68                 | 185.28               | 20.73                |
| 330               | 298.69                                | 275.22                          | 75.71                    | 222.98                 | 199.51               | 11.76                |
| 331               | 298.69                                | 280.54                          | 74.24                    | 224.45                 | 206.3                | 8.80                 |
| 332               | 298.69                                | 272.21                          | 73.77                    | 224.92                 | 198.44               | 13.34                |
| 333               | 298.69                                | 283.75                          | 73.41                    | 225.28                 | 210.34               | 7.10                 |
| 334               | 298.69                                | 266.73                          | 74.4                     | 224.29                 | 192.33               | 16.62                |
| 335               | 298.69                                | 254.79                          | 73.02                    | 225.67                 | 181.77               | 24.15                |

**Anexo 16** *Tabla de humedad Horticultura.*

| <b>N°<br/>LA<br/>B</b> | <b>Peso<br/>húmedo +<br/>anillo g</b> | <b>Peso seco +<br/>anillo g</b> | <b>Peso anillo<br/>g</b> | <b>Peso<br/>húmedo</b> | <b>Peso<br/>seco</b> | <b>%<br/>humedad</b> |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| 463                    | 335.49                                | 292.9                           | 73.92                    | 261.57                 | 218.98               | 19.45                |
| 464                    | 327.6                                 | 294.04                          | 75.38                    | 252.22                 | 218.66               | 15.35                |
| 465                    | 279.99                                | 266.57                          | 74.23                    | 205.76                 | 192.34               | 6.98                 |
| 466                    | 306.3                                 | 261.01                          | 73.15                    | 233.15                 | 187.86               | 24.11                |
| 467                    | 306.23                                | 284.82                          | 76.25                    | 229.98                 | 208.57               | 10.27                |
| 479                    | 336.51                                | 306.07                          | 75.38                    | 261.13                 | 230.69               | 13.20                |
| 480                    | 352.27                                | 266.42                          | 73.02                    | 279.25                 | 193.4                | 44.39                |
| 481                    | 398.59                                | 313.02                          | 74.93                    | 323.66                 | 238.09               | 35.94                |
| 482                    | 322.14                                | 292.75                          | 75.42                    | 246.72                 | 217.33               | 13.52                |
| 483                    | 340.92                                | 293.52                          | 76.4                     | 264.52                 | 217.12               | 21.83                |
| 484                    | 350.51                                | 301.72                          | 78.45                    | 272.06                 | 223.27               | 21.85                |
| 485                    | 276.27                                | 258.08                          | 72.15                    | 204.12                 | 185.93               | 9.78                 |
| 486                    | 255.95                                | 247.83                          | 76.05                    | 179.9                  | 171.78               | 4.73                 |
| 487                    | 317                                   | 288.79                          | 75.02                    | 241.98                 | 213.77               | 13.20                |

**Anexo 17** *Tabla densidad aparente Finca Agroecológica.*

| <b>N° Lab</b> | <b>Peso seco +<br/>anillo g</b> | <b>Peso anillo<br/>g</b> | <b>Volumen<br/>anillo g</b> | <b>Peso seco<br/>g</b> | <b>Densidad<br/>aparente cm³</b> |
|---------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------------|
| 87            | 253.01                          | 75.21                    | 128.07                      | 177.8                  | 1.39                             |
| 88            | 275.14                          | 76.03                    | 119.09                      | 199.11                 | 1.67                             |
| 89            | 262.04                          | 71.96                    | 132.1                       | 190.08                 | 1.44                             |
| 96            | 256.27                          | 73.55                    | 125.12                      | 182.72                 | 1.46                             |
| 119           | 279.47                          | 76.18                    | 132.33                      | 203.29                 | 1.54                             |
| 120           | 296.38                          | 77.71                    | 135.42                      | 218.67                 | 1.61                             |
| 125           | 264.13                          | 75.43                    | 129.16                      | 188.7                  | 1.46                             |
| 126           | 247.25                          | 73.48                    | 129.37                      | 173.77                 | 1.34                             |
| 131           | 262.63                          | 77.69                    | 130.29                      | 184.94                 | 1.42                             |
| 132           | 267.56                          | 75.94                    | 126.89                      | 191.62                 | 1.51                             |
| 134           | 272.63                          | 73.37                    | 129.37                      | 199.26                 | 1.54                             |
| 135           | 262.9                           | 71.8                     | 127.94                      | 191.1                  | 1.49                             |

**Anexo 18** *Tabla densidad aparente Estación Experimental Raúl René Valle.*

| <b>Nº Lab</b> | <b>Peso seco +<br/>anillo g</b> | <b>Peso anillo<br/>g</b> | <b>Volumen<br/>anillo g</b> | <b>Peso seco<br/>g</b> | <b>Densidad<br/>aparente cm<sup>3</sup></b> |
|---------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------------|
| <b>319</b>    | 295.81                          | 76.15                    | 132.6                       | 219.66                 | 1.66                                        |
| <b>320</b>    | 273.11                          | 71.09                    | 122.74                      | 202.02                 | 1.65                                        |
| <b>321</b>    | 261.22                          | 77.65                    | 134.3                       | 183.57                 | 1.37                                        |
| <b>322</b>    | 273.37                          | 75.96                    | 131                         | 197.41                 | 1.51                                        |
| <b>323</b>    | 267.81                          | 74.79                    | 137.77                      | 193.02                 | 1.40                                        |
| <b>324</b>    | 267                             | 75.27                    | 128.47                      | 191.73                 | 1.49                                        |
| <b>325</b>    | 282.19                          | 75.27                    | 131.57                      | 206.92                 | 1.57                                        |
| <b>326</b>    | 255.47                          | 71.85                    | 148.45                      | 183.62                 | 1.24                                        |
| <b>329</b>    | 260.29                          | 75.01                    | 131.71                      | 185.28                 | 1.41                                        |
| <b>330</b>    | 275.22                          | 75.71                    | 133.01                      | 199.51                 | 1.50                                        |
| <b>331</b>    | 280.54                          | 74.24                    | 129.9                       | 206.3                  | 1.59                                        |
| <b>332</b>    | 272.21                          | 73.77                    | 128.86                      | 198.44                 | 1.54                                        |
| <b>333</b>    | 283.75                          | 73.41                    | 132.23                      | 210.34                 | 1.59                                        |
| <b>334</b>    | 266.73                          | 74.4                     | 128.86                      | 192.33                 | 1.49                                        |
| <b>335</b>    | 254.79                          | 73.02                    | 126.44                      | 181.77                 | 1.44                                        |

**Anexo 19** *Tabla densidad aparente Horticultura.*

| <b>Nº Lab</b> | <b>Peso seco +<br/>anillo g</b> | <b>Peso anillo<br/>g</b> | <b>Volumen<br/>anillo g</b> | <b>Peso seco<br/>g</b> | <b>Densidad<br/>aparente cm<sup>3</sup></b> |
|---------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------------|
| <b>463</b>    | 292.9                           | 73.92                    | 128.86                      | 218.98                 | 1.70                                        |
| <b>464</b>    | 294.04                          | 75.38                    | 131.54                      | 218.66                 | 1.66                                        |
| <b>465</b>    | 266.57                          | 74.23                    | 129.9                       | 192.34                 | 1.48                                        |
| <b>466</b>    | 261.01                          | 73.15                    | 126.44                      | 187.86                 | 1.49                                        |
| <b>467</b>    | 284.82                          | 76.25                    | 132.6                       | 208.57                 | 1.57                                        |
| <b>479</b>    | 306.07                          | 75.38                    | 131.71                      | 230.69                 | 1.75                                        |
| <b>480</b>    | 266.42                          | 73.02                    | 148.45                      | 193.4                  | 1.30                                        |
| <b>481</b>    | 313.02                          | 74.93                    | 131.67                      | 238.09                 | 1.81                                        |
| <b>482</b>    | 292.75                          | 75.42                    | 128.86                      | 217.33                 | 1.69                                        |
| <b>483</b>    | 293.52                          | 76.4                     | 128.47                      | 217.12                 | 1.69                                        |
| <b>484</b>    | 301.72                          | 78.45                    | 134.3                       | 223.27                 | 1.66                                        |
| <b>485</b>    | 258.08                          | 72.15                    | 122.74                      | 185.93                 | 1.51                                        |
| <b>486</b>    | 247.83                          | 76.05                    | 131                         | 171.78                 | 1.31                                        |
| <b>487</b>    | 288.79                          | 75.02                    | 132.23                      | 213.77                 | 1.62                                        |

**Anexo 20** *Tabla materia orgánica y nitrógeno Finca Agroecológica*

| <b>Nº LAB</b> | <b>V MO</b> | <b>% CO</b> | <b>% MO</b> | <b>% N</b> |
|---------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| <b>MR1</b>    | 11          | 1.46        | 2.51        | 0.13       |
| <b>MR2</b>    | 10          | 1.68        | 2.89        | 0.14       |
| <b>87</b>     | 8.2         | 2.08        | 3.58        | 0.18       |
| <b>88</b>     | 6           | 2.57        | 4.42        | 0.22       |
| <b>89</b>     | 9           | 1.90        | 3.28        | 0.16       |
| <b>96</b>     | 6.2         | 2.52        | 4.35        | 0.22       |
| <b>119</b>    | 13.5        | 0.90        | 1.55        | 0.08       |
| <b>120</b>    | 9.4         | 1.81        | 3.12        | 0.16       |
| <b>125</b>    | 10.8        | 1.50        | 2.59        | 0.13       |
| <b>126</b>    | 10          | 1.68        | 2.89        | 0.14       |
| <b>131</b>    | 11          | 1.46        | 2.51        | 0.13       |
| <b>132</b>    | 9.4         | 1.81        | 3.12        | 0.16       |
| <b>134</b>    | 10.7        | 1.52        | 2.62        | 0.13       |
| <b>135</b>    | 11.4        | 1.37        | 2.36        | 0.12       |

**Anexo 21** *Tabla materia orgánica y nitrógeno Estación Experimental Raúl René Valle.*

| <b>Nº LAB</b> | <b>V MO</b> | <b>% CO</b> | <b>% MO</b> | <b>% N</b> |
|---------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| <b>MR1</b>    | 8.3         | 1.63        | 2.81        | 0.14       |
| <b>MR2</b>    | 8.7         | 1.52        | 2.62        | 0.13       |
| <b>319</b>    | 6.4         | 2.15        | 3.70        | 0.19       |
| <b>320</b>    | 13.9        | 0.10        | 0.17        | 0.01       |
| <b>321</b>    | 7.1         | 1.96        | 3.37        | 0.17       |
| <b>322</b>    | 8.7         | 1.52        | 2.62        | 0.13       |
| <b>323</b>    | 9.9         | 1.19        | 2.05        | 0.10       |
| <b>324</b>    | 11.2        | 0.83        | 1.44        | 0.07       |
| <b>325</b>    | 6.9         | 2.01        | 3.47        | 0.17       |
| <b>326</b>    | 9.5         | 1.30        | 2.24        | 0.11       |
| <b>329</b>    | 13.4        | 0.23        | 0.40        | 0.02       |
| <b>330</b>    | 9           | 1.44        | 2.48        | 0.12       |
| <b>331</b>    | 7.5         | 1.85        | 3.18        | 0.16       |
| <b>332</b>    | 11.5        | 0.75        | 1.30        | 0.06       |
| <b>333</b>    | 7.8         | 1.77        | 3.04        | 0.15       |
| <b>334</b>    | 4.4         | 2.70        | 4.65        | 0.23       |
| <b>335</b>    | 8.8         | 1.49        | 2.57        | 0.13       |

**Anexo 22** *Tabla materia orgánica y nitrógeno Horticultura*

| Nº LAB | MO   | % CO | % MO | % N  |
|--------|------|------|------|------|
| MR1    | 8.9  | 2.06 | 3.55 | 0.18 |
| MR2    | 11.4 | 1.54 | 2.66 | 0.13 |
| 463    | 9.6  | 1.91 | 3.30 | 0.16 |
| 464    | 11.7 | 1.48 | 2.55 | 0.13 |
| 465    | 9.9  | 1.85 | 3.19 | 0.16 |
| 466    | 7.3  | 2.39 | 4.12 | 0.21 |
| 467    | 9.5  | 1.93 | 3.34 | 0.17 |
| 479    | 11.7 | 1.48 | 2.55 | 0.13 |
| 480    | 13   | 1.21 | 2.09 | 0.10 |
| 481    | 8.1  | 2.22 | 3.83 | 0.19 |
| 482    | 11.4 | 1.54 | 2.66 | 0.13 |
| 483    | 13.5 | 1.11 | 1.91 | 0.10 |
| 484    | 12.1 | 1.40 | 2.41 | 0.12 |
| 485    | 14.5 | 0.90 | 1.55 | 0.08 |
| 486    | 14.3 | 0.94 | 1.62 | 0.08 |
| 487    | 15.2 | 0.76 | 1.30 | 0.07 |

**Anexo 23** *Tabla respiración basal Finca Agroecológica.*

| Nº Muestra | Nº laboratorio | Peso de muestra | Volumen blanco | Volumen muestra | % humedad | M | Peso seco | Respiración basal |
|------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------|---|-----------|-------------------|
| M1         | 87             | 25              | 23.7           | 22.9            | 22.81     | 1 | 19.30     | 248.74            |
| M2         | 88             | 25              | 23.7           | 21.6            | 18.12     | 1 | 20.47     | 615.50            |
| M3         | 89             | 25              | 21.6           | 21.4            | 18.30     | 1 | 20.42     | 58.75             |
| M4         | 96             | 25              | 21.6           | 21.2            | 25.09     | 1 | 18.73     | 128.16            |
| M5         | 119            | 25              | 22.1           | 21.9            | 23.33     | 1 | 19.17     | 62.60             |
| M6         | 120            | 25              | 22.1           | 21.6            | 24.19     | 1 | 18.95     | 158.29            |
| M7         | 125            | 25              | 22.3           | 21.7            | 16.74     | 1 | 20.81     | 172.95            |
| M8         | 126            | 25              | 22.3           | 22              | 23.92     | 1 | 19.02     | 94.63             |
| M9         | 131            | 25              | 22.5           | 21.8            | 18.74     | 1 | 20.31     | 206.75            |
| M10        | 132            | 25              | 22.5           | 22.1            | 17.29     | 1 | 20.68     | 116.07            |
| M11        | 134            | 25              | 22.5           | 21.9            | 16.52     | 1 | 20.87     | 172.49            |
| M12        | 135            | 25              | 22.5           | 22.3            | 12.74     | 1 | 21.81     | 55.01             |

**Anexo 24** *Tabla respiración basal Estación Experimental Raúl René Valle.*

| Nº Muestra | Nº laboratorio | Peso de muestra | Volumen blanco | Volumen muestra | % humedad | M | Peso seco | Respiración basal |
|------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------|---|-----------|-------------------|
| M1         | 319            | 25              | 21.8           | 21.2            | 16.33     | 1 | 20.92     | 172.10            |
| M2         | 320            | 25              | 21.8           | 21.7            | 10.40     | 1 | 22.40     | 26.79             |
| M3         | 321            | 25              | 21.8           | 21.1            | 34.58     | 1 | 16.36     | 256.78            |
| M4         | 322            | 25              | 21.8           | 20.9            | 11.34     | 1 | 22.16     | 243.63            |
| M5         | 323            | 25              | 21.8           | 20.8            | 17.26     | 1 | 20.68     | 290.07            |
| M6         | 324            | 25              | 21.8           | 21              | 8.38      | 1 | 22.90     | 209.56            |
| M7         | 325            | 25              | 21.8           | 20.7            | 12.63     | 1 | 21.84     | 302.16            |
| M8         | 326            | 25              | 21.8           | 20.9            | 23.54     | 1 | 19.12     | 282.49            |
| M9         | 329            | 25              | 23.5           | 23.2            | 20.73     | 1 | 19.82     | 90.82             |
| M10        | 330            | 25              | 23.5           | 22.9            | 11.76     | 1 | 22.06     | 163.20            |
| M11        | 331            | 25              | 23.5           | 22.9            | 8.80      | 1 | 22.80     | 157.89            |
| M12        | 332            | 25              | 23.5           | 22.6            | 13.34     | 1 | 21.66     | 249.26            |
| M13        | 333            | 25              | 23.5           | 23              | 7.10      | 1 | 23.22     | 129.18            |
| M14        | 334            | 25              | 23.5           | 23              | 16.62     | 1 | 20.85     | 143.91            |
| M15        | 335            | 25              | 23.5           | 22.9            | 24.15     | 1 | 18.96     | 189.85            |

**Anexo 25** *Tabla respiración basal Horticultura.*

| Nº Muestra | Nº laboratorio | Peso de muestra | Volumen blanco | Volumen muestra | % humedad | M | Peso seco | Respiración basal |
|------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------|---|-----------|-------------------|
| M1         | 463            | 25              | 19.8           | 19.3            | 19.45     | 1 | 20.14     | 148.97            |
| M2         | 464            | 25              | 19.8           | 19.4            | 15.35     | 1 | 21.16     | 113.41            |
| M3         | 465            | 25              | 19.8           | 19.3            | 6.98      | 1 | 23.26     | 129.00            |
| M4         | 466            | 25              | 19.8           | 18.8            | 24.11     | 1 | 18.97     | 316.24            |
| M5         | 467            | 25              | 19.8           | 19.3            | 10.27     | 1 | 22.43     | 133.73            |
| M6         | 479            | 25              | 21             | 20.7            | 13.20     | 1 | 21.70     | 82.94             |
| M7         | 480            | 25              | 21             | 20.7            | 44.39     | 1 | 13.90     | 129.47            |
| M8         | 481            | 25              | 21             | 20.7            | 35.94     | 1 | 16.01     | 112.39            |
| M9         | 482            | 25              | 21             | 20.8            | 13.52     | 1 | 21.62     | 55.51             |
| M10        | 483            | 25              | 21             | 20.4            | 21.83     | 1 | 19.54     | 184.22            |
| M11        | 484            | 25              | 21             | 20.5            | 21.85     | 1 | 19.54     | 153.56            |
| M12        | 485            | 25              | 21             | 20.2            | 9.78      | 1 | 22.55     | 212.82            |
| M13        | 486            | 25              | 21             | 20.3            | 4.73      | 1 | 23.82     | 176.34            |
| M14        | 487            | 25              | 21             | 20.3            | 13.20     | 1 | 21.70     | 193.54            |



**Anexo 26** *Tabla densidad real Finca Agroecológica.*

| <b>Nº Lab</b> | <b>Resultado</b> | <b>% Densidad real</b> |
|---------------|------------------|------------------------|
| <b>87</b>     | 45.3             | 4.26                   |
| <b>88</b>     | 40.2             | 2.04                   |
| <b>89</b>     | 40.7             | 2.15                   |
| <b>96</b>     | 39.8             | 1.96                   |
| <b>119</b>    | 40.8             | 2.17                   |
| <b>120</b>    | 40.5             | 2.11                   |
| <b>125</b>    | 40.7             | 2.15                   |
| <b>126</b>    | 41               | 2.22                   |
| <b>131</b>    | 41               | 2.22                   |
| <b>132</b>    | 40.6             | 2.13                   |
| <b>134</b>    | 40.7             | 2.15                   |
| <b>135</b>    | 40.6             | 2.13                   |

**Anexo 27** *Tabla densidad real Estación Experimental Raúl René Valle.*

| <b>Nº Lab</b> | <b>Resultado</b> | <b>% Densidad real</b> |
|---------------|------------------|------------------------|
| <b>319</b>    | 40.1             | 2.02                   |
| <b>320</b>    | 40.9             | 2.20                   |
| <b>321</b>    | 40.2             | 2.04                   |
| <b>322</b>    | 40.6             | 2.13                   |
| <b>323</b>    | 40.1             | 2.02                   |
| <b>324</b>    | 40.3             | 2.06                   |
| <b>325</b>    | 40.2             | 2.04                   |
| <b>326</b>    | 39.7             | 1.94                   |
| <b>329</b>    | 42.2             | 2.56                   |
| <b>330</b>    | 40.2             | 2.04                   |
| <b>331</b>    | 40.6             | 2.13                   |
| <b>332</b>    | 41.2             | 2.27                   |
| <b>333</b>    | 40.9             | 2.20                   |
| <b>334</b>    | 40.5             | 2.11                   |
| <b>335</b>    | 40.4             | 2.08                   |

**Anexo 28** *Tabla densidad real Horticultura.*

| Nº Lab | Resultado | % densidad real |
|--------|-----------|-----------------|
| 463    | 40.8      | 2.17            |
| 464    | 41        | 2.22            |
| 465    | 40.8      | 2.17            |
| 466    | 40.6      | 2.13            |
| 467    | 41.2      | 2.27            |
| 479    | 41.3      | 2.30            |
| 480    | 41        | 2.22            |
| 481    | 40.3      | 2.06            |
| 482    | 40.2      | 2.04            |
| 483    | 41.5      | 2.35            |
| 484    | 41.2      | 2.27            |
| 485    | 41.5      | 2.35            |
| 486    | 41.3      | 2.30            |
| 487    | 41.1      | 2.25            |

**Anexo 29** *Tabla porosidad Finca Agroecológica.*

| Nº Lab | Densidad Aparente Cm <sup>3</sup> | Densidad Real | % Porosidad |
|--------|-----------------------------------|---------------|-------------|
| 87     | 1.39                              | 4.26          | 67.37       |
| 88     | 1.67                              | 2.04          | 18.08       |
| 89     | 1.44                              | 2.15          | 33.09       |
| 96     | 1.46                              | 1.96          | 25.52       |
| 119    | 1.54                              | 2.17          | 29.33       |
| 120    | 1.61                              | 2.11          | 23.30       |
| 125    | 1.46                              | 2.15          | 32.06       |
| 126    | 1.34                              | 2.22          | 39.56       |
| 131    | 1.42                              | 2.22          | 36.12       |
| 132    | 1.51                              | 2.13          | 29.02       |
| 134    | 1.54                              | 2.15          | 28.38       |
| 135    | 1.49                              | 2.13          | 29.80       |

**Anexo 30** *Tabla porosidad Estación Experimental Raúl René Valle.*

| <b>Nº Lab</b> | <b>Densidad Aparente<br/>Cm³</b> | <b>Densidad Real</b> | <b>% Porosidad</b> |
|---------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|
| 319           | 1.66                             | 2.02                 | 18.00              |
| 320           | 1.65                             | 2.20                 | 25.11              |
| 321           | 1.37                             | 2.04                 | 33.02              |
| 322           | 1.51                             | 2.13                 | 29.17              |
| 323           | 1.40                             | 2.02                 | 30.65              |
| 324           | 1.49                             | 2.06                 | 27.62              |
| 325           | 1.57                             | 2.04                 | 22.94              |
| 326           | 1.24                             | 1.94                 | 36.30              |
| 329           | 1.41                             | 2.56                 | 45.14              |
| 330           | 1.50                             | 2.04                 | 26.50              |
| 331           | 1.59                             | 2.13                 | 25.36              |
| 332           | 1.54                             | 2.27                 | 32.24              |
| 333           | 1.59                             | 2.20                 | 27.62              |
| 334           | 1.49                             | 2.11                 | 29.10              |
| 335           | 1.44                             | 2.08                 | 31.00              |

**Anexo 31** *Tabla porosidad Horticultura.*

| <b>Nº Lab</b> | <b>Densidad Aparente<br/>Cm³</b> | <b>Densidad Real</b> | <b>% Porosidad</b> |
|---------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|
| 463           | 1.70                             | 2.17                 | 21.83              |
| 464           | 1.66                             | 2.22                 | 25.20              |
| 465           | 1.48                             | 2.17                 | 31.89              |
| 466           | 1.49                             | 2.13                 | 30.17              |
| 467           | 1.57                             | 2.27                 | 30.79              |
| 479           | 1.75                             | 2.30                 | 23.81              |
| 480           | 1.30                             | 2.22                 | 41.37              |
| 481           | 1.81                             | 2.06                 | 12.30              |
| 482           | 1.69                             | 2.04                 | 17.36              |
| 483           | 1.69                             | 2.35                 | 28.17              |
| 484           | 1.66                             | 2.27                 | 26.85              |
| 485           | 1.51                             | 2.35                 | 35.62              |
| 486           | 1.31                             | 2.30                 | 42.96              |
| 487           | 1.62                             | 2.25                 | 28.06              |

**Anexo 32** *Tabla textura Finca Agroecológica.*

| N° muestra | N° lab. | Peso de la muestra | Lectura de hidrómetro (40 seg) | Lectura de hidrómetro (2 hrs) | Temperatura 40 seg (°c) | Temperatura 40 seg (°f) | Temperatura 2 hrs (°c) | Temperatura 2 hrs (°f) | Valor temp. 40 seg | Valor temp. 2 hrs | Lectura corregida 40 seg | Lectura corregida 2 hrs | Arena % | Limo % | Arcilla % | Textura                |
|------------|---------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|---------|--------|-----------|------------------------|
| <b>M1</b>  | 87      | 50                 | 18                             | 8                             | 24                      | 75.2                    | 25                     | 77                     | 1.6                | 1.2               | 19.6                     | 9.2                     | 60.8    | 20.8   | 18.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M2</b>  | 88      | 50                 | 22                             | 8                             | 24                      | 75.2                    | 25                     | 77                     | 1.6                | 1.2               | 23.6                     | 9.2                     | 52.8    | 28.8   | 18.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M3</b>  | 89      | 50                 | 22                             | 8                             | 24                      | 75.2                    | 25                     | 77                     | 1.6                | 1.2               | 23.6                     | 9.2                     | 52.8    | 28.8   | 18.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M4</b>  | 96      | 50                 | 21                             | 10                            | 24                      | 75.2                    | 25                     | 77                     | 1.6                | 1.2               | 22.6                     | 11.2                    | 54.8    | 22.8   | 22.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| <b>M5</b>  | 119     | 50                 | 22                             | 5                             | 24                      | 75.2                    | 25                     | 77                     | 1.6                | 1.2               | 23.6                     | 6.2                     | 52.8    | 34.8   | 12.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M6</b>  | 120     | 50                 | 20                             | 9                             | 24                      | 75.2                    | 25                     | 77                     | 1.6                | 1.2               | 21.6                     | 10.2                    | 52.8    | 28.8   | 20.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| <b>M7</b>  | 125     | 50                 | 20                             | 7                             | 24                      | 75.2                    | 25                     | 77                     | 1.6                | 1.2               | 21.6                     | 7.2                     | 56.8    | 28.8   | 14.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M8</b>  | 126     | 50                 | 18                             | 5                             | 24                      | 75.2                    | 24                     | 75.2                   | 1.6                | 1.2               | 19.6                     | 6.2                     | 60.8    | 26.8   | 12.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M9</b>  | 131     | 50                 | 21                             | 6                             | 23                      | 73.4                    | 24                     | 75.2                   | 1.6                | 1.2               | 22.6                     | 7.2                     | 52.8    | 32.8   | 14.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M10</b> | 132     | 50                 | 22                             | 7                             | 23                      | 73.4                    | 24                     | 75.2                   | 1.6                | 1.2               | 23.6                     | 8.2                     | 52.8    | 32.8   | 14.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M11</b> | 134     | 50                 | 19                             | 7                             | 23                      | 73.4                    | 24                     | 75.2                   | 1.6                | 1.2               | 20.6                     | 8.2                     | 60.8    | 26.8   | 12.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M12</b> | 135     | 50                 | 18                             | 7                             | 23                      | 73.4                    | 24                     | 75.2                   | 1.6                | 1.2               | 19.6                     | 8.2                     | 52.8    | 30.8   | 16.4      | Franco Arenoso         |
| <b>MRI</b> | 0       | 50                 | 22                             | 7                             | 25                      | 77                      | 25                     | 77                     | 1.6                | 1.2               | 23.6                     | 8.2                     | 52.8    | 30.8   | 16.4      | Franco Arenoso         |
| <b>MRI</b> | 0       | 50                 | 17                             | 7                             | 23                      | 73.4                    | 21                     | 69.8                   | 1.6                | 1.2               | 18.6                     | 8.2                     | 62.8    | 20.8   | 16.4      | Franco Arenoso         |

**Anexo 33** *Tabla textura Estación Experimental Raúl René Valle.*

| N° muestra | N° lab. | Peso de la muestra | Lectura de hidrómetro (40 seg) | Lectura de hidrómetro (2 hrs) | Temperatura 40 seg (°c) | Temperatura 40 seg (°f) | Temperatura 2 hrs (°c) | Temperatura 2 hrs (°f) | Valor tem. 40 seg | Valor temp. 2 hrs | Lectura corregida 40 seg | Lectura corregida 2 hrs | Arena % | Limo % | Arcilla % | Textura                |
|------------|---------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|---------|--------|-----------|------------------------|
| <b>M1</b>  | 319     | 50                 | 20                             | 8                             | 26                      | 78.8                    | 26                     | 78.8                   | 1.6               | 1.2               | 21.6                     | 9.2                     | 56.8    | 24.8   | 18.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M2</b>  | 320     | 50                 | 21                             | 10                            | 26                      | 78.8                    | 26                     | 78.8                   | 1.6               | 1.2               | 22.6                     | 11.2                    | 54.8    | 22.8   | 22.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| <b>M3</b>  | 321     | 50                 | 21                             | 8                             | 26                      | 78.8                    | 26                     | 78.8                   | 1.6               | 1.2               | 22.6                     | 9.2                     | 60.8    | 26.8   | 12.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M4</b>  | 322     | 50                 | 20                             | 9                             | 26                      | 78.8                    | 25                     | 77                     | 1.6               | 1.2               | 21.6                     | 10.2                    | 56.8    | 22.8   | 20.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| <b>M5</b>  | 323     | 50                 | 21                             | 10                            | 26                      | 78.8                    | 25                     | 77                     | 1.6               | 1.2               | 22.6                     | 11.2                    | 54.8    | 22.8   | 22.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| <b>M6</b>  | 324     | 50                 | 22                             | 8                             | 26                      | 78.8                    | 25                     | 77                     | 1.6               | 1.2               | 23.6                     | 9.2                     | 60.8    | 20.8   | 18.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| <b>M7</b>  | 325     | 50                 | 20                             | 8                             | 25                      | 77                      | 25                     | 77                     | 1.6               | 1.2               | 21.6                     | 9.2                     | 56.8    | 24.8   | 18.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M8</b>  | 326     | 50                 | 23                             | 7                             | 25                      | 77                      | 25                     | 77                     | 1.6               | 1.2               | 24.6                     | 8.2                     | 50.8    | 34.8   | 14.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| <b>M9</b>  | 329     | 50                 | 23                             | 7                             | 25                      | 77                      | 24                     | 75.2                   | 1.6               | 1.2               | 24.6                     | 8.2                     | 60.8    | 22.8   | 16.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M10</b> | 330     | 50                 | 19                             | 7                             | 25                      | 77                      | 24                     | 75.2                   | 1.6               | 1.2               | 20.6                     | 8.2                     | 58.8    | 24.8   | 16.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| <b>M11</b> | 331     | 50                 | 18                             | 7                             | 25                      | 77                      | 24                     | 75.2                   | 1.6               | 1.2               | 19.6                     | 8.2                     | 60.8    | 20.8   | 18.4      | Franco Arenoso         |
| <b>M12</b> | 332     | 50                 | 22                             | 11                            | 25                      | 77                      | 24                     | 75.2                   | 1.6               | 1.2               | 23.6                     | 11.2                    | 52.8    | 22.8   | 24.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| <b>M13</b> | 333     | 50                 | 19                             | 6                             | 25                      | 77                      | 24                     | 75.2                   | 1.6               | 1.2               | 20.6                     | 7.2                     | 58.8    | 26.8   | 14.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| <b>M14</b> | 334     | 50                 | 22                             | 10                            | 25                      | 77                      | 24                     | 75.2                   | 1.6               | 1.2               | 23.6                     | 11.2                    | 52.8    | 22.8   | 22.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| <b>M15</b> | 335     | 50                 | 20                             | 8                             | 25                      | 77                      | 24                     | 75.2                   | 1.6               | 1.2               | 21.6                     | 9.2                     | 56.8    | 24.8   | 18.4      | Franco Arenoso         |
| <b>MRI</b> | 0       | 50                 | 22                             | 7                             | 25                      | 77                      | 25                     | 77                     | 1.6               | 1.2               | 23.6                     | 8.2                     | 52.8    | 30.8   | 16.4      | Franco                 |
| <b>MRI</b> | 0       | 50                 | 17                             | 7                             | 23                      | 73.4                    | 21                     | 69.8                   | 1.6               | 1.2               | 18.6                     | 8.2                     | 62.8    | 20.8   | 16.4      | Franco Arenoso         |

### Anexo 34 *Tabla textura Horticultura*

| N° muestra | N° lab. | Peso de la muestra | Lectura de hidrómetro (40 seg) | Lectura de hidrómetro (2 hrs) | Temperatura 40 seg (°c) | Temperatura 40 seg (°f) | Temperatura 2 hrs (°c) | Temperatura 2 hrs (°f) | Valor temp. 40 seg | Valor temp. 2 hrs | Lectura corregida 40 seg | Lectura corregida 2 hrs | Arena % | Limo % | Arcilla % | Textura                |
|------------|---------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|---------|--------|-----------|------------------------|
| M1         | 463     | 50                 | 21                             | 8                             | 25                      | 77                      | 24                     | 75.2                   | 1.6                | 1.2               | 22.6                     | 9.2                     | 54.8    | 26.8   | 18.4      | Franco Arenoso         |
| M2         | 464     | 50                 | 20                             | 7                             | 25                      | 77                      | 24                     | 75.2                   | 1.6                | 1.2               | 21.6                     | 8.2                     | 56.8    | 26.8   | 16.4      | Franco Arenoso         |
| M3         | 465     | 50                 | 19                             | 7                             | 25                      | 77                      | 24                     | 75.2                   | 1.6                | 1.2               | 20.6                     | 8.2                     | 58.8    | 24.8   | 16.4      | Franco Arenoso         |
| M4         | 466     | 50                 | 18                             | 6                             | 24                      | 75.2                    | 23                     | 73.4                   | 1.6                | 1.2               | 19.6                     | 7.2                     | 60.8    | 24.8   | 14.4      | Franco Arenoso         |
| M5         | 467     | 50                 | 18                             | 6                             | 24                      | 75.2                    | 23                     | 73.4                   | 1.6                | 1.2               | 19.6                     | 7.2                     | 60.8    | 24.8   | 14.4      | Franco Arenoso         |
| M6         | 479     | 50                 | 21                             | 7                             | 24                      | 75.2                    | 23                     | 73.4                   | 1.6                | 1.2               | 22.6                     | 8.2                     | 54.8    | 26.8   | 18.4      | Franco Arenoso         |
| M7         | 480     | 50                 | 20                             | 8                             | 24                      | 75.2                    | 23                     | 73.4                   | 1.6                | 1.2               | 21.6                     | 9.2                     | 56.8    | 26.8   | 16.4      | Franco Arenoso         |
| M8         | 481     | 50                 | 22                             | 5                             | 25                      | 77                      | 23                     | 73.4                   | 1.6                | 1.2               | 23.6                     | 6.2                     | 58.8    | 20.8   | 20.4      | Franco Arcillo Arenoso |
| M9         | 482     | 50                 | 17                             | 7                             | 25                      | 77                      | 23                     | 73.4                   | 1.6                | 1.2               | 18.6                     | 8.2                     | 62.8    | 20.8   | 16.4      | Franco Arenoso         |
| M10        | 483     | 50                 | 17                             | 5                             | 25                      | 77                      | 23                     | 73.4                   | 1.6                | 1.2               | 18.6                     | 6.2                     | 62.8    | 24.8   | 12.4      | Franco Arenoso         |
| M11        | 484     | 50                 | 16                             | 4                             | 25                      | 77                      | 22                     | 71.6                   | 1.6                | 1.2               | 17.6                     | 5.2                     | 66.8    | 20.8   | 12.4      | Franco Arenoso         |
| M12        | 485     | 50                 | 15                             | 4                             | 25                      | 77                      | 22                     | 71.6                   | 1.6                | 1.2               | 16.6                     | 5.2                     | 72.8    | 16.8   | 10.4      | Franco Arenoso         |
| M13        | 486     | 50                 | 20                             | 4                             | 24                      | 75.2                    | 22                     | 71.6                   | 1.6                | 1.2               | 21.6                     | 5.2                     | 58.8    | 32.8   | 8.4       | Franco Arenoso         |
| M14        | 487     | 50                 | 22                             | 5                             | 24                      | 75.2                    | 22                     | 71.6                   | 1.6                | 1.2               | 23.6                     | 6.2                     | 52.8    | 34.8   | 12.4      | Franco                 |
| MRI        | 0       | 50                 | 22                             | 7                             | 25                      | 77                      | 25                     | 77                     | 1.6                | 1.2               | 23.6                     | 8.2                     | 52.8    | 30.8   | 16.4      | Franco                 |
| MRI        | 0       | 50                 | 17                             | 7                             | 23                      | 73.4                    | 21                     | 69.8                   | 1.6                | 1.2               | 18.6                     | 8.2                     | 62.8    | 20.8   | 16.4      | Franco Arenoso         |

**Anexo 35** *Tabla de contribución de variables en los ejes del PCA, integrado de muestras, macrofauna, e histograma.*

| ESPECIES               | AXIS1      | AXIS2       |
|------------------------|------------|-------------|
| Lombrices              | 7.1465878  | 6.09638527  |
| Hormigas               | 5.4791951  | 0.57703678  |
| Termitas               | 7.6565663  | 4.70518868  |
| Blatódea               | 2.5065356  | 10.18907986 |
| Coleoptera             | 4.1759274  | 0.46263673  |
| Arácnido               | 3.3759931  | 18.97859221 |
| Diplópodos             | 1.4374908  | 7.77943649  |
| Chilopodos             | 8.9768066  | 0.27778357  |
| Diptera                | 0.2157958  | 21.69469318 |
| Hemiptera              | 6.5492242  | 0.19073731  |
| Dermáptera             | 5.4254022  | 4.53141961  |
| Larvas de lepidópteras | 1.6135788  | 4.35300602  |
| Gasterópodos           | 2.5664137  | 18.62663271 |
| Otros                  | 6.3587044  | 0.46473596  |
| Densidad total         | 11.0996072 | 0.42747576  |
| Riqueza taxonómica     | 11.2218056 | 0.60736183  |
| Indicador              | 14.1943654 | 0.03779803  |

**Anexo 36** *Tabla de contribución de variables en los ejes del PCA, integrado de muestras, variables físico-químicas, e histograma.*

| VARIABLES         | AXIS1      | AXIS2      |
|-------------------|------------|------------|
| pH                | 6.4847049  | 5.65278203 |
| Humedad           | 0.1743326  | 9.14937217 |
| Densidad          | 10.0143444 | 21.4073913 |
| Materia orgánica  | 15.771246  | 7.4978199  |
| Respiración basal | 2.033695   | 6.608155   |
| Estabilidad       | 9.6079937  | 10.1368784 |
| Densidad real     | 11.3327418 | 9.81453375 |
| TT % arena        | 3.8171691  | 5.42240104 |
| TT % limo         | 1.3527807  | 0.00105415 |
| TT % arcilla      | 12.6562524 | 7.76504831 |
| Porosidad         | 26.7547393 | 16.544564  |

**Anexo 37** *Herramientas utilizadas en la recolección de monolitos*



**Figura 17** Proceso de muestreo de suelo en campo mediante pala (izquierda) y almacenamiento de las muestras en sacos (derecha) para el traslado al laboratorio.



**Figura 18** Herramientas para la recolección de macrofauna edáfica, pinzas de recolección (izquierda) frasco plástico con tapa hermética para almacenamiento y conservación de muestras (derecha).





**Figura 19** Bandeja de madera para separación de suelo y organismos (izquierda) y cuadrante de 25 × 25 cm empleado en la delimitación del monolito de suelo (derecha).

### **Anexo 38** *Extracción monolito Finca Agroecológica*



**Anexo 39** *Extracción monolito Estación Experimental Raúl René Valle.*



**Anexo 40** *Recolección de monolito Horticultura*



**Anexo 41** *Muestras de macrofauna.*



**Anexo 42** *Análisis realizados en laboratorio de suelos.*



**Figura 20** Proceso de maceración del suelo para análisis de laboratorio.





**Figura 21** Determinación peso de humedad en muestra de suelo.



**Figura 22** Proceso de secado de muestras de suelo en horno a temperatura controlada, previo a los análisis físico-químicos.



**Figura 23** Preparación de muestras de suelo para análisis de textura mediante el método de hidrómetro.



**Figura 24** Preparación de muestras de suelo para la determinación de pH.



**Figura 25** Determinación de respiración basal como indicador de la actividad microbiana.

**Anexo 43** Macrofauna edáfica encontrada en la Finca Agroecológica, Horticultura y Estación Experimental Raúl René Valle.



**Figura 26** Termitas (Isoptera) conservadas en alcohol.



**Figura 27** Lombrices preservadas en formulina.



**Figura 28** Hormigas conservadas en alcohol (Hymenoptera).



**Figura 29** Cucarachas conservadas en alcohol (Blatódea).



**Figura 30** Escarabajos conservados en alcohol (Coleópteros).





**Figura 31** Arañas conservadas en alcohol (Arachnida).



**Figura 32** Milpiés (Diplopodos).



**Figura 33** Tijeretas conservadas en alcohol (Dermáptera).



**Figura 34** Larvas lepidópteras conservadas en alcohol.



**Figura 35** Caracoles conservados en alcohol (Gasterópodos).



**Figura 36** Chicharras conservadas en alcohol (hemípteras).



**Figura 37** Larvas de dípteras conservadas en alcohol.



**Figura 38** Gallina Ciega conservada en alcohol (Coleópteros).



**Figura 39** Larvas de luciérnagas conservadas en alcohol (coleóptera).