



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Ambiental

Microbiota intestinal de escarabajos peloteros (Scarabaeinae) de un área afectada por un incendio forestal en la Reserva Madrigal del Podocarpus, Loja

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Lorena Jhuliana Villamagua Carrión

DIRECTORA:

Blga. Aura del Carmen Paucar Cabrera, PhD

Loja- Ecuador

2024



CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, PAUCAR CABRERA AURA DEL CARMEN, director del Trabajo de Integración Curricular denominado *Microbiota intestinal de escarabajos peloteros (Scarabaeinae) de un área afectada por un incendio forestal en la Reserva Madrigal del Podocarpus, Loja*, perteneciente al estudiante LORENA JHULIANA VILLAMAGUA CARRION, con cédula de identidad N° 1150977484.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 5 de agosto de 2024



Firmado electrónicamente por:

AURA DEL CARMEN
PAUCAR CABRERA

F).....

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-001954

Autoría

Yo, **Lorena Jhuliana Villamagua Carrión**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mí Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1150977484

Fecha: 26 de noviembre del 2024

Correo electrónico: lorena.villamagua@unl.edu.ec

Teléfono: 0985892974

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Lorena Jhuliana Villamagua Carrión**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Microbiota intestinal de escarabajos peloterros (Scarabaeinae) de un área afectada por un incendio forestal en la Reserva Madrigal del Podocarpus, Loja**, como requisito para optar el título de **Ingeniera Ambiental**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veintiséis días del mes de noviembre del dos mil veinte y cuatro.



Firma:

Autora: Lorena Jhuliana Villamagua Carrión

Cédula de identidad: 1150977484

Dirección: Barrio La Banda, Loja, Ecuador

Correo electrónico: lorena.villamagua@unl.edu.ec

Teléfono: 0985892974

DATOS COMPLEMENTARIOS

Directora del Trabajo de Integración Curricular: Blga. Aura Paucar Cabrera PhD.

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico a cada una de las personas que fueron parte de este largo caminar. A mi mamita Ana por su amor y fortaleza inquebrantable, por enseñarme a no rendirme cuando las cosas se complican, eres mi guía en esta vida terrenal. A mi papito, Joffre por cada sacrificio, tu esfuerzo para darme una educación es un regalo invaluable que nunca podré agradecer lo suficiente. A mis hermanos Jairo, Jordy y Viviana, por sus palabras de aliento, su amor y lealtad. A mi Yoyita, que ha sido mi ángel en todo este proceso. A mis pequeñas, Mara Sarahí y Antonella, que con su amor e inocencia pudieron alegrar mis días más oscuros y refrescarme el corazón cuando más lo necesitaba.

Lorena Jhuliana Villamagua Carrión

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios, por ser mi luz y mi guía en cada paso, gracias por no soltar mi mano en las dificultades, gracias por tu amor y refugio. Agradezco a la Virgencita de “El Cisne” que siempre intercede por todos mis planes.

A mi directora de tesis, la Blga. Aurita Paucar Cabrera, PhD., que, gracias a su entrega y paciencia, me supo orientar de la forma más amable, por su apoyo en todo este proceso. A la Eco. Katuska Valarezo, gracias por sus conocimientos impartidos cargados de humor, empatía y respeto. Al ingeniero Christian Mendoza, quien ha sido parte fundamental para la culminación de mi trabajo.

Agradezco a mi persona especial, Steven Romero, gracias por tu amor, apoyo, compañía en cada salida de campo, las largas tardes de trabajo, en donde el cansancio e incertidumbre me ganaban, supiste estar ahí para consolarme, motivarme y llenarme de risas.

Con todo mi cariño y gratitud.

Lorena Jhuliana Villamagua Carrión

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras	ix
Índice de anexos	ix
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Generalidades sobre escarabajos peloteros	6
4.1.1. <i>Comportamiento de los escarabajos peloteros</i>	6
4.2. Funciones ecológicas de los escarabajos peloteros	6
4.3. Consorcios bacterianos en el intestino de los escarabajos peloteros	8
4.4. Incidencia de los incendios forestales sobre los ecosistemas	9
4.4.1. <i>Incidencia de los incendios forestales sobre la comunidad de escarabajos peloteros</i>	10
5. Metodología	11
5.1. Área de estudio.....	11
5.2. Diseño experimental.....	12
5.3. Unidad de muestreo.....	¡Error! Marcador no definido.
5.4. Colecta de escarabajos peloteros	¡Error! Marcador no definido.

5.4.1. Preparación y disección intestinal de los escarabajos peloteros	¡Error!
Marcador no definido.	
5.5. Identificación de bacterias a través de metagenómica.....	14
5.6. Comparación de las microbiotas intestinales de escarabajos del área quemada con el área de bosque natural y pastizal	15
6. Resultados	15
6.1. Caracterización de la microbiota intestinal de los escarabajos peloteros (Coleoptera: Scarabaeinae) colectados en un área alterada por incendio, bosque natural y zona de pastizal en la Reserva Madrigal del Podocarpus.	15
6.2. Comparación de las microbiotas intestinales de los escarabajos peloteros (Coleoptera: Scarabaeinae) colectados en un bosque alterado por un incendio, con el bosque natural y zona de pastizal de la Reserva Madrigal del Podocarpus.....	22
7. Discusión	24
8. Conclusiones	28
9. Recomendaciones.....	28
10. Bibliografía	30
11. Anexos	38

Índice de tablas

Tabla 1. Especies bacterianas de escarabajos peloteros de las coberturas vegetales de la Reserva Madrigal del Podocarpus..... 16

Tabla 2. Funciones ecológicas de las especies bacterianas. 19

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio: a) Reserva Madrigal del Podocarpus con sus tres áreas (bosque conservado, pastizal y área afectada por un incendio forestal)..... 12

Figura 2. Abundancia de especies bacterianas presentes en los escarabajos peloteros de bosque natural..... 23

Figura 3. Abundancia de especies bacterianas presentes en los escarabajos peloteros de bosque restaurado (área de incendio forestal). 23

Figura 4. Abundancia de especies bacterianas presentes en los escarabajos peloteros en zona de pastizal..... 24

Índice de anexos

Anexo 1. Permiso de investigación para colecta de especies, otorgado por el MAATE. 38

Anexo 2. Colocación de trampas de caídas en la reserva Madrigal del Podocarpus. 39

Anexo 3. Trampa de caída activa..... 39

Anexo 4. Paisaje restaurado de la reserva Madrigal de Podocarpus, provincia de Loja..... 40

Anexo 5. Certificación de traducción del Resumen (Abstract)..... 41

1. Título

Microbiota intestinal de escarabajos peloteros (Scarabaeinae) de un área afectada por un incendio forestal en la Reserva Madrigal del Podocarpus, Loja

2. Resumen

Los escarabajos peloteros dependen de las bacterias intestinales, que a través de una simbiosis nutricional les aportan beneficios como la protección contra patógenos y la asimilación de nutrientes. Este estudio evaluó la similitud entre especies bacterianas de escarabajos peloteros de un área afectada por incendio forestal y en áreas de bosque natural y pastizal de la reserva Madrigal del Podocarpus. Para el muestreo se utilizaron trampas pifall modificadas que mantuvieron a los escarabajos vivos, en cada área se ubicaron dos parcelas de 10 x 10 m, en las cuales se seleccionó aleatoriamente tres subparcelas de 1 x 1 m. Se colectaron 20 individuos de tres especies (*Onthophagus curvicornis*, *Uroxys lojanus* y *Dichotomius cotopaxi*), a los que se les extrajo su intestino para la identificación de bacterias a través de metagenómica. Además, se realizó búsqueda bibliográfica para caracterizar a las bacterias identificadas con importancia ecológica. Se realizó una comparación entre las bacterias registradas en cada una de las coberturas vegetales, se analizó de manera descriptiva, identificando las especies compartidas entre las diferentes zonas. Se registraron 14 especies bacterianas con importancia ecológica. Teniendo en común que fijan nitrógeno, solubilizan fósforo y producen fitohormonas, beneficiando así el crecimiento vegetal. Los resultados del análisis comparativo mostraron que existe un mayor número de especies bacterianas compartidas de los escarabajos de la zona de incendio forestal con bosque natural. Mientras que en la zona de incendio con zona de pastizal existe una menor cantidad de especies bacterianas compartidas posiblemente por la calidad y tipo de alimento que consumen los escarabajos diferente a la de áreas boscosas.

Palabras clave: escarabajos peloteros, microbiota intestinal, incendio forestal, cobertura vegetal, especies generalistas.

Abstract

Dung beetles depend on resident bacteria within their intestines, which contribute to their development and help maintain ecological balance through a nutritional symbiosis. This study evaluated the similarity of bacterial species in dung beetles between an area affected by forest fire and areas of natural forest and pastureland within the Madrigal del Podocarpus reserve. Sampling was conducted using modified pitfall traps designed to keep the beetles alive, placed in three randomly selected 1x1 subplots within 10x10m plots. A total of 20 beetles from three species were collected (*Onthophagus curvicornis*, *Uroxys lojanus*, and *Dichotomius cotopaxi*), and their intestines were extracted. These samples were sent to an external laboratory for bacterial identification through metagenomics. A literature review was conducted to characterize the identified bacteria with ecological significance. A descriptive comparison was performed among the bacteria recorded in each of the vegetation types, taking into account the species shared between them. Fourteen bacterial species of ecological importance were identified. The bacteria found in the collected beetles shared the traits of nitrogen fixation, phosphorus solubilization, and phytohormone production, thus benefiting plant growth. Comparative analysis showed a higher number of dung beetle bacteria shared between fire zone and natural forest areas. In contrast, there was less number of bacterial species shared between the forest fire zone and pastureland, possibly due to differences in quality and type of consumed by dung beetles found in forested areas compared to pasturelands.

Keywords: dung beetles, gut microbiota, forest fire, vegetation cover, generalist species.

3. Introducción

Los escarabajos peloteros juegan un papel fundamental dentro de los ecosistemas terrestres, debido a que se alimentan de estiércol de animales principalmente de mamíferos (Lopes et al., 2023), y al ser un grupo facilitador en el proceso de descomposición del excremento en zonas naturales como bosques y también en los campos agrícolas (Lee y Wall, 2006), contribuyen a mantener limpios estos ecosistemas (Chirico et al., 2003). Además, proporcionan un sinnúmero de servicios ecosistémicos (Nichols et al., 2008), un ejemplo de los beneficios que brindan es para la industria ganadera, por ejemplo; en Estados Unidos, se ahorra un aproximado de 380 millones de dólares anuales, por la capacidad que tienen para agregar materia orgánica al suelo, reduciendo así, la necesidad de agregar fertilizantes (Losey y Vaughan, 2006). Así mismo, la actividad de los escarabajos contribuye a la regulación de especies plaga, controlan los parásitos gastrointestinales que afectan al ganado bovino (Perez et al., 2018), reducen la liberación de metano y gases provenientes del estiércol, que son responsables del efecto invernadero (Slade et al., 2016). (Boonrotpong et al., 2004) y (Nichols et al., 2008) mencionan que los escarabajos también contribuyen al ciclo de nutrientes, en la bioturbación, en el crecimiento de las plantas, en la polinización y dispersión de semillas.

En estos procesos, se involucran diversas comunidades bacterianas que residen en el intestino de los escarabajos, brindándoles beneficios a través de una simbiosis nutricional, ésta asociación simbiótica ayuda a regular su fisiología y los protege contra patógenos (Poveda, 2019), ayudan también a la rápida asimilación de nutrientes y degradan compuestos que los hospedadores no pueden degradar (Salazar, 2009). (Ebert et al., 2021) en su investigación mencionan que las bacterias presentes en los intestinos de los escarabajos contribuyen a su estado físico en conjunto con microorganismos edáficos.

Sin embargo, todos los beneficios que aportan los escarabajos peloteros se ven afectados por actividades antropogénicas, principalmente por las malas prácticas en las actividades agrícolas y ganaderas (Arellano y Castillo, 2014), como la quema para eliminar malezas y preparar el terreno para su próxima siembra (Armenteras et al., 2005), en ocasiones este fuego generado, llega a propagarse hacia zonas aledañas, y con frecuencia son difíciles de controlar provocando un incendio forestal, destruyendo amplias áreas de bosque natural (Nasi et al., 2002). Además, de traer como consecuencia

graves repercusiones ecológicas como la pérdida de especies, biomasa, muerte de organismos y provocar la desaparición de hábitats, refugios y fuentes de alimento (Arellano y Castillo, 2014), siendo los escarabajos peloteros uno de los grupos afectados, por ejemplo, Saint-Germain et al. (2005) mencionan que el fuego afecta a los escarabajos debido a que se pierden las fuentes de alimento de los mamíferos y esto conlleva a una disminución radical de la disponibilidad de alimento (estiércol) para estos insectos. Así mismo, estos autores y Rangel et al. (2020) mencionan que estas perturbaciones afectan a su diversidad, abundancia, riqueza, composición y al aprovisionamiento de servicios ecosistémicos que brindan.

En la zona Sur del Ecuador se han experimentado diversos problemas debido a los incendios forestales que afectan áreas naturales (Fernández et al., 2013). Como sucedió en la reserva Madrigal en el año 2016, donde un extenso incendio forestal consumió alrededor de 60 ha de bosque natural (Baker, 2017). Este incendio destruyó la cobertura vegetal (Baker, 2017), alterando la composición del suelo y afectando la flora y fauna de la zona (Rangel et al 2016). En la reserva existen áreas de páramo matorral, páramo antrópico, bosque montano y pastizal en regeneración, que, al estar expuestos a degradación por incendios, aparece la necesidad de estimar el grado de regeneración que han tenido y qué organismos intervienen para que este proceso se realice, y si estos son similares entre las zonas conservadas y alteradas. Por ello, en el presente estudio se planteó como objetivo general el evaluar la similitud entre las microbiotas intestinales de escarabajos peloteros (Coleoptera: Scarabaeinae) colectados en una zona alterada por un incendio con las microbiotas intestinales de escarabajos peloteros colectados en bosque natural y zona de pastizal de la Reserva Madrigal del Podocarpus. Y como objetivos específicos se planteó: i) Caracterizar las microbiotas intestinales de los escarabajos peloteros (Coleoptera: Scarabaeinae) colectados en un área alterada por incendio, bosque natural y zona de pastizal en la Reserva Madrigal del Podocarpus, y ii) Comparar la microbiota intestinal de los escarabajos peloteros (Coleoptera: Scarabaeinae) colectados en un bosque alterado por un incendio, con el bosque natural y zona de pastizal de la Reserva Madrigal del Podocarpus.

Es importante mencionar que esta investigación se llevó a cabo con financiamiento de la Universidad Nacional de Loja, con el proyecto 07-DI-FARNR-2021 titulado “Uso de escarabajos biorecicladores (Coleoptera: Scarabaeinae) y consorcios bacterianos del suelo como estrategia para la regeneración de ecosistemas en tres áreas

de Loja y Zamora Chinchipe”, otorgado por la Dirección de Investigación a Aura Paucar Cabrera (IP) y al grupo de investigación del Museo de Zoología LOUNAZ-UNL.

4. Marco teórico

4.1. Generalidades sobre escarabajos peloteros

Estos insectos están dentro de la familia Scarabaeidae y de la subfamilia: Scarabaeinae. La mayoría de las especies de Scarabaeinae, habitan en regiones tropicales, otras subfamilias habitan en zonas más templadas (Martínez et al., 2011), incluso algunas especies también habitan en sistemas agroforestales (Celi y Dávalos, 2001). Los individuos de esta subfamilia son llamados escarabajos peloteros, estercoleros o coprófagos y son conocidos como recicladores de materia orgánica en descomposición, con lo que contribuyen a mantener limpio el entorno (Martínez et al., 2011).

4.1.1. Comportamiento de los escarabajos peloteros

La alimentación de los escarabajos peloteros es variada según su edad, por ejemplo, los escarabajos adultos toman la solución acuosa del excremento como alimento, mientras que los escarabajos en estado larvario se alimentan de los residuos de las plantas que no han podido ser digeridos por el ganado (Martínez et al., 2011). Estos escarabajos tienen diversos comportamientos o maneras de encargarse del estiércol, y por esta razón se los clasifican en tres grupos: los rodadores, los cavadores y los moradores (Rangel et al, 2016). En el caso de los escarabajos rodadores, lo que hacen es formar pequeñas bolas de estiércol, y se ayudan de sus patas traseras para rodar la masa formada, esto lo realizan parejas de hembra y macho en etapa de reproducción. Por otro lado, los escarabajos cavadores, excavan el suelo que está por debajo del excremento y lo llevan al excremento hacia los túneles que realizan, esta actividad la pueden realizar solos o emparejados (Boonrotpong et al., 2004). Y finalmente se encuentra los escarabajos moradores, los cuales se establecen en ciertas áreas de la boñiga, creando una cámara donde residen (Martínez et al., 2011).

4.2. Funciones ecológicas de los escarabajos peloteros

Los escarabeinos, son considerados como uno de los grupos taxonómicos más relevantes en relación con el estiércol y sus procesos asociados (Perez et al., 2018). Los escarabajos peloteros cumplen un rol importante en la descomposición del estiércol en los diferentes paisajes y proporcionan un conjunto de servicios ecosistémicos. Entre los servicios ambientales que ofrecen se encuentra: la mejora del ciclo de nutrientes, la

mejora de los pastos y la reducción del hábitat de las plagas que se reproducen por el estiércol. Esto gracias a la actividad de dispersión del excremento y su traslado al suelo (Beynon et al., 2015).

Losey y Vaughan (2006) mencionan que, en Estados Unidos, aproximadamente 100 millones de cabeza de ganado se encuentran en actividades de producción y por cada animal, se produce alrededor de 21 metros cúbicos de residuos por año. Pero gracias a la eficiente actividad que poseen los escarabajos peloteros de descomponer los desechos, mejoran las características de los pastos como el sabor, olor y textura, y reducen las plagas lo que resulta un gran beneficio económico para las actividades ganaderas. Los escarabajos estercoleros al utilizar el estiércol de ganado como medio para reproducirse y alimentarse, contribuyen a mantener los pastizales ganaderos limpios y a controlar los parásitos gastrointestinales que afectan al ganado bovino (Chirico et al., 2003). Puesto que los escarabajos utilizan el excremento para su alimentación y reproducción, destruyen los huevecillos de helmintos viables, nematodos y protozoos (Numa et al., 2020), que son dañinos para el ganado y la vida silvestre en general, incluso para el ser humano (Nichols et al., 2008). Además de prevenir que especies de moscas plaguicidas coloquen sus huevecillos en el excremento, disminuyendo significativamente su población (Martínez et al., 2011).

Aproximadamente el 80% del nitrógeno que está presente en el estiércol se volatiliza, excepto cuando existe una cantidad significativa de escarabajos peloteros, ya que su presencia acelera el entierro de estos desechos, disminuyendo considerablemente la pérdida de nitrógeno de entre 5 a 15% (Bang et al., 2005). Últimamente se ha demostrado que los escarabajos poseen la capacidad de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y cooperan al secuestro de carbono, ya que se encarga de las heces del ganado vacuno que se encuentran en los pastizales. Por otro lado, se destaca que la actividad de excavación que realizan ayuda a mejorar la aireación del suelo y evitar la compactación del mismo (Bang et al., 2005).

Al reintegrar nuevamente materia orgánica al suelo, ayudan a mejorar su estructura y capacidad de retención de agua. También, cumplen una función importante como dispersores secundarios de semillas (Boonrotpong et al., 2004). Adicionalmente han sido usados como bioindicadores para detectar afectaciones en los ecosistemas (Davis et al., 2001), gracias a su alta sensibilidad a las perturbaciones y la relativa facilidad para

ser colectados. Los escarabajos peloteros han sido un factor determinante para conocer los impactos de dichas perturbaciones en los bosques (Boonrotpong et al., 2004).

Los escarabajos también son dispersores secundarios de semillas, debido a que existe una gran cantidad de semillas presentes en el estiércol que son enterradas por estos insectos al introducir las bostas de excremento en los túneles para sus crías, contribuyendo al crecimiento vegetal, (Nichols et al., 2008) mencionan que aproximadamente del 6 al 95 % de semillas de una bosta son enterradas por las comunidades de escarabajos peloteros.

4.3. Consorcios bacterianos en el intestino de los escarabajos peloteros

Al ser los escarabajos peloteros organismos detritívoros, es decir, que se alimentan de desechos o materia orgánica en descomposición (Amat et al., 2023), dependen de la presencia de micro comunidades en sus intestinos las cuales suelen estar compuestas por bacterias y hongos, que a su vez les ayudan a absorber de una mejor manera los nutrientes que requieren, también poseen la capacidad para descomponer compuestos que sus huéspedes no pueden digerir (Galvis et al., 2009).

Se ha de mostrado que tanto la dieta como la taxonomía del insecto influye fuertemente en su microbiota intestinal. Los organismos detritívoros, poseen una microbiota única que les ayuda al consumo de la materia en descomposición (Colman et al., 2012)

Broderick et al. (2004), mencionan que las bacterias que habitan en los intestinos de los insectos son importantes para desempeñar funciones, y a través de sus relaciones simbióticas ayudan a la producción de feromonas, a su reproducción, digestión y alimentación, así como también los protegen de los patógenos (Poveda, 2019). Algunas de estas bacterias simbióticas poseen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y sintetizar otros nutrientes esenciales (Nardi et al., 2006).

Los insectos pueden albergar una diversidad de microorganismos en su intestino, y la composición, abundancia y estabilidad de estos microorganismos varía significativamente entre distintos órdenes de insectos. Las diferencias en las microbiotas intestinales pueden ser atribuidas a varios factores, tales como la dieta del insecto, su filogenia, el entorno en el que se encuentran, la morfología de su sistema digestivo y su comportamiento. Se reconoce que los microorganismos desempeñan un papel crucial

especialmente en insectos cuya dieta es baja en nutrientes o incluye alimentos de difícil digestión (Ebert et al., 2021)

Kolasa et al. (2019), realizaron un estudio sobre la microbiota de 24 especies de escarabajos pertenecientes a tres grupos tróficos diferentes: detritívoros, herbívoros y carnívoros en 5 familias: Carabidae, Staphylinidae, Chrysomelidae, Curculionidae y Scarabaeidae. Los resultados de la investigación revelaron algunos cambios significativos en las comunidades microbianas entre los diferentes huéspedes, también se encontró que la diversidad de bacterias estaba influenciada tanto por las relaciones filogenéticas de los huéspedes como por su afinidad trófica. Además, se observó que la microbiota dominante en la familia Scarabaeidae estaba compuesta principalmente por las bacterias *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Carnobacterium* y *Bacillus*.

Estos hallazgos sugieren que tanto los factores filogenéticos como los tróficos desempeñan un papel importante en la estructura y composición de la microbiota de los escarabajos estudiados. En este estudio incluyeron algunas especies de escarabajos, específicamente del género *Onthophagus*, los cuales poseían una microbiota intestinal más variada en comparación a las demás familias de escarabajos (Kolasa et al., 2019). De igual forma en el estudio realizado por Parker et al. (2020), se encontró que *Onthophagus spp.*, poseía una comunidad bacteriana diversa y que se diferenciaba según la localidad de donde fueron recolectados los escarabajos.

En un estudio más reciente realizado por Falqueto et al. (2022) denominado “Microbioma intestinal larval de *Pelidnota luridipes* (Coleoptera: Scarabaeidae): alta diversidad bacteriana, diferentes perfiles metabólicos en las cámaras intestinales y especies con potencial probiótico” pudieron identificar 57 especies de bacterias. También registraron que su abundancia y composición varían según la ubicación dentro del intestino. Además, aseguran que existía una mayor riqueza y diversidad de las bacterias en el intestino posterior.

4.4. Incidencia de los incendios forestales sobre los ecosistemas

Una de las prácticas usadas con mayor frecuencia es la quema de las zonas dedicadas a actividades agrícolas y ganaderas, dados los bajos costos que éstas generan en la eliminación de malas hierbas y para preparar el suelo para la siguiente siembra (Armenteras et al., 2005). Pero estas prácticas, muchas de las veces no son controladas y

pueden llegar a afectar grandes áreas de bosque provocando un incendio forestal y dejando varios efectos negativos sobre estos ecosistemas (Nasi et al., 2002).

Los incendios forestales son emisores de carbono, que contribuye al calentamiento global, y afecta directamente a cambios en la biodiversidad (Collet, 2003). Ya sean naturales o de origen humano, los incendios son perturbaciones que pueden provocar muchos cambios, tanto en la composición del suelo (Rangel et al., 2020), como en las especies y en las características de su hábitat de bosques húmedos o secos (Barlow y Peres, 2004). Entre los aspectos que pueden provocar dichos incendios está el estrés, destrucción del hábitat, escasez de alimento y muerte de especies de importancia ecológica como polinizadores o descomponedores, lo que puede causar una lenta recuperación de los bosques (Arellano y Castillo, 2014).

Según Collet (2014), los incendios provocan que el suelo se erosione, aparte de alterar el ciclo hidrológico, existe también pérdida de hábitats, refugios y fuentes de alimento. Además, debido a las elevadas temperaturas que surgen a raíz de los incendios, se destruye también la capa vegetal, ocasionando alteraciones en las comunidades bacterianas del suelo (Arellano y Castillo, 2014).

Dichos incendios forestales afectan a las comunidades de insectos (Andrade et al., 2011), la diversidad de vegetación y su estructura. Los bosques perturbados por un incendio forestal poseen una composición alterada de especies (Andrade et al., 2014).

4.4.1. Incidencia de los incendios forestales sobre la comunidad de escarabajos peloteros

Rangel et al (2020) determinaron la respuesta negativa que presentan algunas comunidades de escarabajos frente a un incendio forestal, tal es el caso de los escarabajos coprófagos de la subfamilia Scarabaeinae, disminuyendo la riqueza, diversidad, biomasa y estructura de su comunidad después del incendio. El estado de conservación de los diferentes paisajes, es un punto clave para el buen desarrollo de los escarabajos peloteros a diferencia de las zonas perturbadas (Rangel et al., 2016). Arellano y Castillo, (2014) mencionan que en el segundo año de muestreo se registró un decrecimiento en la abundancia de escarabajos peloteros con respecto al primer año de muestreo, lo que demuestra que los efectos de estas perturbaciones se presentan a largo plazo.

Existen efectos directos e indirectos de los incendios forestales para los escarabajos peloteros, los primeros provocan la muerte de estos organismos en etapa

larvaria y adultez, así como el traslado a nuevas áreas (Cochrane, 2003). En cambio, los efectos indirectos están relacionado con los cambios sobre la estructura de la vegetación, afectando a la cobertura vegetal, a la disponibilidad de alimento, hábitat, etc (Barlow y Peres, 2006). Los organismos que supervivieron dependen de estas últimas condiciones durante la perturbación (Cochrane, 2003). Barlow y Peres (2006) también mencionan que estas perturbaciones provocan la pérdida de especies vegetales que sirven de alimento para los mamíferos, lo que puede llevar a una desaparición de éstos y no habría suficiente disponibilidad de alimento (excremento) para las actividades de los escarabajos peloteros (Nichols et al., 2009).

5. Metodología

Esta investigación, se realizó con el permiso de investigación del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, (MAATE) y propietarios de la Reserva Madrigal del Podocarpus, Loja.

5.1. Área de estudio

La Reserva Privada Madrigal del Podocarpus, se encuentra ubicada en la parte sureste de la ciudad de Loja, sector El Carmen. Tiene una superficie de 306 ha. La reserva forma parte de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus (PNP) (Torres, 2016). Limita al norte con la microcuenca San Simón, al sur con el PNP y propiedades privadas, al este limita con el PNP por el filo de la cordillera hasta la quebrada San Simón y al oeste con el barrio Zamora Huayco (Castillo, 2016). La reserva posee un rango altitudinal que va desde los 2225 hasta los 3310 msnm. El rango de precipitación anual se encuentra entre los 500 y 1200 mm, mientras que la temperatura varía entre los 12 y 14 °C (Torres, 2016).

Debido a la actividad humana, la reserva posee una vegetación que representa un ecosistema alterado, como el bosque secundario, el área arbustiva y el páramo antropogénico. El bosque secundario se encuentra ubicado en la parte sur de la reserva y ha requerido más tiempo para recuperarse, mientras que el área arbustiva está compuesta principalmente por arbustos y algunos pocos árboles. El páramo antropogénico se encuentra en la cima de la montaña en la parte sureste de la reserva y comprende dos partes en función de la historia de incendios de cada una. La parte baja ha sido más afectada en años recientes en comparación con la parte alta, y por último esta el área de pastizal (Baker, 2017). En la figura 1 se observan las 3 coberturas vegetales seleccionadas

para la investigación: Bosque natural, Bosque alterado por incendio forestal (área restaurada) y zona de pastizal de la Reserva.

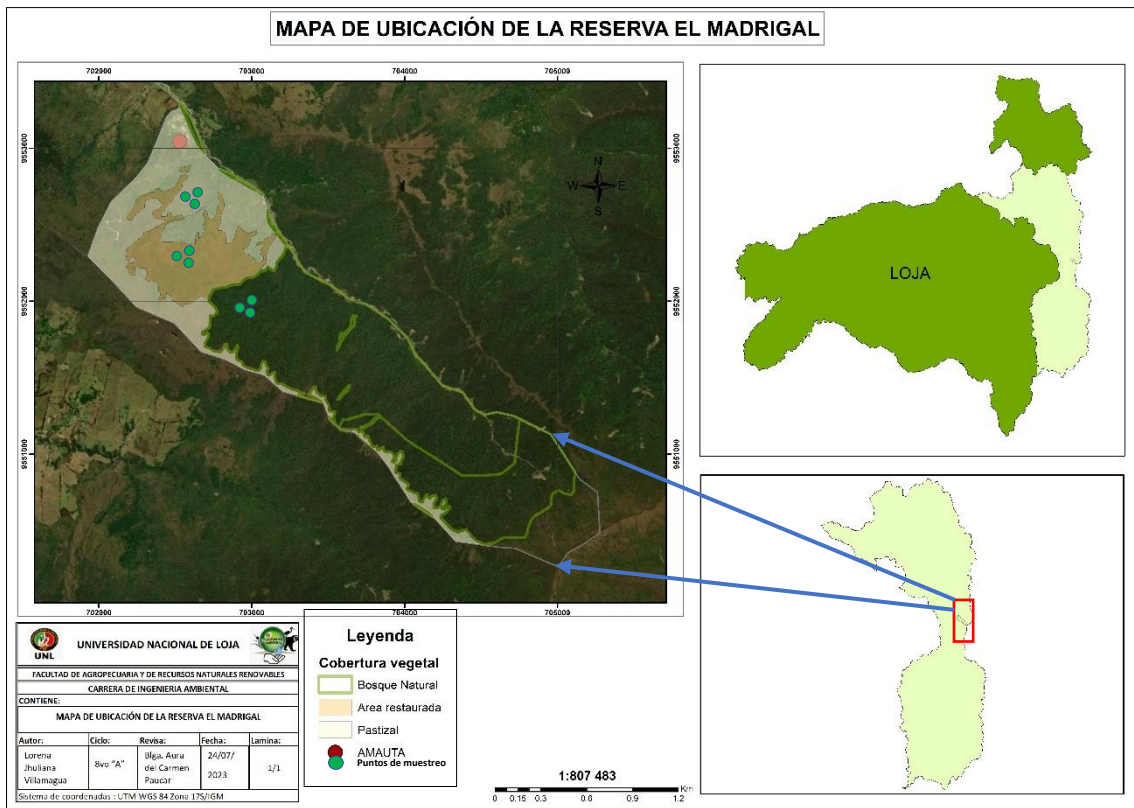


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio: a) Reserva Madrigal del Podocarpus con sus tres áreas (bosque conservado, pastizal y área afectada por un incendio forestal).

Fuente: Elaboración y formulación propia

5.2. Diseño experimental

El presente estudio es de tipo descriptivo-deductivo, en el cual mediante la presentación de las perturbaciones generados en la reserva El Madrigal, se pueda proponer si estos disturbios han afectado a las comunidades bacterianas de los escarabajos peloteros. Posee un alcance descriptivo, debido a que se detallan las características de las especies bacterianas con importancia ecológica e interpretación de cómo podrían contribuir a la regeneración de zonas degradadas, además de conocer la similitud de especies que existen entre diferentes coberturas. Tiene un enfoque cualitativo y se basó en la identificación de especies bacterianas con importancia ecológica del tracto digestivo de los escarabajos peloteros en las diferentes coberturas vegetales de la reserva.

Las variables dependientes son: las especies bacterianas del tracto digestivo de los escarabajos peloteros y las variables independientes: bosque natural, zona quemada y

pastizal.

5.3. Colecta de escarabajos peloteros

El muestreo se realizó en el mes de febrero del 2024 utilizando el mismo procedimiento en las diferentes coberturas de la reserva: bosque natural, bosque alterado por incendio y pastizal, teniendo como resultado 18 puntos de colecta en la zona de investigación. Para ello se tomó como referencia la metodología aplicada por Jiménez (2023) con sus puntos de muestreo como punto central. A partir de estos se ubicaron los nuevos puntos de muestreo a 100 m de distancia de los puntos iniciales. En cada punto de muestreo, se colocó una parcela de 10 x 10 m y se dividió en subparcelas de 1 x 1 m. Luego se seleccionaron aleatoriamente 3 subparcelas para colocar en cada una de ellas, una trampa pitfall, mismas que fueron modificadas para mantener a los especímenes vivos como se describe en la siguiente sección.

Se utilizaron trampas pitfall o de caída modificadas con el fin de coleccionar escarabajos que se mantengan vivos, es decir, en el vaso de colecta se colocó tierra y hojarasca del mismo sitio de muestreo. El cebo (excremento humano), se colocó en un vaso plástico pequeño con tapa y suspendido a 10 cm sobre el vaso de colecta para evitar que los especímenes entren en contacto con el cebo y se contaminen con bacterias ajenas a su microbiota. En los vasos de colecta se colocaron embudos plásticos con el fin de que los escarabajos no escapen de la trampa. Luego se utilizaron platos desechables a manera de techo para evitar que las trampas se llenen de agua u hojarasca (Chamorro et al., 2019; Figueroa y Alvarado, 2011). Las trampas fueron retiradas a las 24 horas.

Seguidamente, se etiquetó y selló para su traslado al Museo de Zoología LOUNAZ de la Universidad Nacional de Loja. Una vez ahí se los identificó, seleccionó y colocó en tubos Falcon de 50 ml, que fueron nuevamente etiquetados y sellados, para ser llevados al Centro de Biotecnología de la Universidad Nacional de Loja.

5.4. Unidad de muestreo

En el Centro de Biotecnología de la Universidad Nacional de Loja, se los sacrificó a los escarabajos colocándolos en la nevera a una temperatura de -20 °C. Luego, bajo la campana de flujo, se llevó a cabo un proceso de desinfección para evitar contaminación externa. Cada escarabajo se colocó en agua destilada estéril durante un minuto, luego en alcohol durante dos minutos y, finalmente, se enjuagó nuevamente con agua destilada durante un minuto. Luego se llevó a cabo el proceso de la disección intestinal, extrayendo

todo lo que comprende al intestino anterior y recto de acuerdo con el protocolo establecido por Jiménez (2023).

Se desinfectó los instrumentos previamente con alcohol al 70%, para separar el abdomen del resto del cuerpo y se dividió el área entre el metatórax y el abdomen, se procedió a retirar el intestino del abdomen y se colocó en un criovial de 2 ml con agua destilada.

Para separar las bacterias de las paredes del tejido, se introdujo la varilla en el criovial durante 1 minuto para triturar e incorporar todo el intestino del escarabajo (muestra madre).

A los tubos de muestra madre se los etiquetó con sus datos de colecta (localidad, fecha, elevación, colector, nombre de la especie de escarabajo del que provienen), número de identificación único correspondiente al escarabajo al que están asociados.

5.5. Identificación de bacterias a través de metagenómica

Las muestras madres obtenidas de los intestinos de escarabajos se enviaron a un laboratorio externo de análisis molecular (Biosequence) para la realización de metagenómica. Se envió un total de 20 muestras.

La identificación de especies bacterianas de cada muestra se realizó mediante metagenómica debido a que es un proceso óptimo para identificar a nivel de especie a numerosos individuos contenidos en una muestra mixta. Con el análisis de metagenómica se buscó la obtención de secuencias del genoma de los distintos microorganismos (bacterias), que conforman la comunidad intestinal del escarabajo, extrayendo y analizando el ADN bacteriano.

El procedimiento de metagenómica realizado en el laboratorio externo es el siguiente: para el aislamiento del ADN, las células de los microorganismos se desintegran empleando métodos fisicoquímicos. Cuando el ADN de esas células se encuentra libre, se separa del resto de la muestra. Realizado el aislamiento del ADN, se lo corta en fragmentos más pequeños usando enzimas llamadas endonucleasas de restricción. Y a estos fragmentos se los liga a los vectores, para permitir que el ADN de las bacterias que tendrían dificultad para crecer en condición de laboratorio pueda expresarse. Con esta información de secuencia por individuos bacterianos, se construyen bibliotecas de metagenómicas donde se almacena toda la información genética de interés.

Análisis de secuencia

En esta última etapa, se comparan las secuencias del ADN que se obtienen, con las secuencias almacenadas en bases de datos disponibles, algunas de las cuales son de acceso público y pueden consultarse en línea como la NCBI (National Center for Biotechnology Information) (Johnson et al., 2019). Y así se logra identificar las bacterias a nivel de especie.

Revisión de literatura

Con esta información detallada, se realizó una búsqueda de literatura de distintos autores, para conocer que bacterias de las encontradas en cada individuo, están involucradas en procesos de restauración de suelos o la importancia ecológica que poseen con respecto al tema de estudio.

5.6. Comparación de las microbiotas intestinales de escarabajos del área quemada con el área de bosque natural y pastizal

Una vez obtenidos los resultados de metagenómica y conocida la información de las bacterias con importancia ecológica presentes en las muestras madres de los intestinos, se organizó una matriz en Excel, en la cual se registraron las especies de bacterias identificadas con importancia ecológica encontradas en cada escarabajo con su respectivo lugar de muestreo, se graficó para identificar las especies dominantes y cuales se comparten entre las diferentes coberturas.

6. Resultados

6.1. Caracterización de la microbiota intestinal de los escarabajos peloteros (Coleoptera: Scarabaeinae) colectados en un área alterada por incendio, bosque natural y zona de pastizal en la Reserva Madrigal del Podocarpus.

Escarabajos peloteros en las tres áreas de la Reserva Madrigal del Podocarpus

Se registró un total de 20 individuos pertenecientes a la subfamilia Scarabaeinae: 8 especímenes en el área afectada por un incendio, 7 en pastizal y 5 en bosque natural. De éstos, 15 fueron *Onthophagus curvicornis* (Latreille, 1812), cuatro *Uroxys lojanus* (Arrow, 1933), y un individuo de *Dichotomius cotopaxi* (Guérin-Méneville, 1855).

Identificación de bacterias con potencial restaurador de suelo, presentes en el intestino de los escarabajos

En base a las muestras madre de los intestinos de los escarabajos peloteros, se registró un total de 14 especies de bacterias identificadas con importancia ecológica, los resultados se detallan a continuación (Tabla 1):

Tabla 1. Especies bacterianas de escarabajos peloteros de las coberturas vegetales de la Reserva Madrigal del Podocarpus.

Tipo de vegetación	Especie de escarabajo	ID	Especies ID bacterias
Bosque natural	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021215	<i>Escherichia vulneris</i> <i>Pseudomonas stutzeri</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>
Bosque natural	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021221	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Klebsiella variicola</i>
Bosque natural	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021223	<i>Pantoea agglomerans</i>
Bosque natural	<i>Uroxys lojanus</i>	LOUNAZ-I 0021222	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Bacillus licheniformes</i>
Bosque natural	<i>Uroxys lojanus</i>	LOUNAZ-I 0021224	<i>Escherichia vulneris</i> <i>Pantoea agglomerans</i> <i>Bacillus licheniformes</i>
Incendio Forestal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021216	<i>Escherichia vulneris</i> <i>Pantoea agglomerans</i> <i>Erwinia tasmaniensis</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Pantoea dispersa</i> <i>Bacillus firmus</i> <i>Serratia marsecens</i>
Incendio Forestal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021217	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Pseudomonas putida</i>
Incendio Forestal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021218	<i>Pantoea agglomerans</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Bacillus licheniformes</i> <i>Bacillus acidicola</i>
Incendio Forestal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021220	<i>Pantoea agglomerans</i>
Incendio Forestal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021226	<i>Pantoea agglomerans</i>

Tipo de vegetación	Especie de escarabajo	ID	Especies ID bacterias
Incendio Forestal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021231	<i>Escherichia vulneris</i>
Incendio Forestal	<i>Uroxys lojanus</i>	LOUNAZ-I 0021219	<i>Pantoea agglomerans</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>
Incendio Forestal	<i>Uroxys lojanus</i>	LOUNAZ-I 0021234	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
Pastizal	<i>Dichotomius cotopaxi</i>	LOUNAZ-I 0021225	<i>Klebsiella variicola</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>
Pastizal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021227	<i>Pseudomonas stutzeri</i>
Pastizal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021228	
Pastizal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021229	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
Pastizal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021230	<i>Pantoea agglomerans</i> <i>Pseudomonas stutzeri</i>
Pastizal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021232	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Pastizal	<i>Onthophagus curvicornis</i>	LOUNAZ-I 0021233	<i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Pantoea agglomerans</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Pantoea dispersa</i>

Fuente: Elaboración y formulación propia

Con búsqueda bibliográfica, se logró identificar las especies bacterianas con importancia ecológica en las muestras intestinales de los escarabajos peloteros de cada una de las zonas. Por ejemplo, en el espécimen LOUNAZ-I 0021216 (*Onthophagus curvicornis*) de la zona de incendio forestal, se encontraron 7 especies con importancia ecológica, seguido a este se encuentra el espécimen LOUNAZ-I 0021218 (*Onthophagus curvicornis*) y LOUNAZ-I 0021233 (*Onthophagus curvicornis*) pertenecientes a la zona de bosque restaurado y pastizal, respectivamente, los cuales registraron 4 especies bacterianas con importancia ecológica. Mientras que en el espécimen LOUNAZ-I 0021225 perteneciente a *Dichotomius cotopaxi* se registraron 2 especies. Por otro lado, existieron

especies de escarabajos que no registraron presencia de bacterias con importancia ambiental como es el caso de LOUNAZ-I 0021228 de la zona de pastizal.

En la tabla 2 se detallan las funciones ecológicas de las bacterias registradas en los intestinos de las diferentes especies de escarabajos peloteros en las tres coberturas vegetales de la Reserva Madrigal del Podocarpus.

Tabla 2. Funciones ecológicas de las especies bacterianas.

Bacterias	Especie escarabajo	Función ecológica	Fuente
<i>Bacillus acidicola</i> Albert et al., 2005	<i>Onthophagus curvicornis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fijar nitrógeno mediante enzimas (nitrogenasas y fitasas) lo que estimula el crecimiento vegetal 	(Corrales et al., 2017)
<i>Bacillus firmus</i> Bredemann y Werner, 1933	<i>Onthophagus curvicornis</i> <i>Uroxys lojanus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Produce fitohormonas como el ácido indolacético, el cual ayuda a estimular el crecimiento de las plantas. • Es una bacteria alcalina que, junto con otras bacterias de la misma especie, mejora la salud de los árboles y estimula el crecimiento de la raíz de las plantas 	(Lagunas et al., 2001)
<i>Bacillus licheniformis</i> (Weigmann, 1898)	<i>Onthophagus curvicornis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de degradar sustratos, promover el crecimiento vegetal, fijar nitrógeno al suelo y solubilizar fosfatos. • Facilita la solubilización de fosfatos gracias a que segregan una mezcla de ácidos orgánicos como el ácido láctico, isobutírico y acético. • Produce fitohormonas o metabolitos (ácido indolacético) 	(Angulo et al., 2012) (Tejera et al., 2011)
<i>Erwinia tasmaniensis</i> Geider et al., 2006	<i>Dichotomius cotopaxi</i> <i>Onthophagus curvicornis</i> <i>Uroxys lojanus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Bacteria promotora de crecimiento vegetal (BPCV). • Capacidad de solubilizar fosfato. • Producen fitohormonas como auxinas. 	(Clavijo et al., 2012)

<i>Escherichia vulneris</i> Brenner et al., 1983	<i>Onthophagus curvicornis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial para estimular el crecimiento vegetal. 	(Sanclemente et al., 2017)
<i>Klebsiella pneumoniae</i> Schroeter, 1886	<i>Onthophagus curvicornis</i> <i>Uroxys lojanus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fijadora de nitrógeno • Bacteria endófitas. • Capacidad de producir fitohormonas (ácido indolacético o auxinas) que estimulan el crecimiento vegetal. • Capacidad de solubilizar fosfatos 	(Chelius y Triplett, 2000) (Clavijo et al., 2012)
<i>Klebsiella variicola</i> Rosenblueth et al., 2004	<i>Onthophagus curvicornis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fijadora de nitrógeno. • Remueve contaminantes del suelo. • Favorece a la disponibilidad del fósforo en el suelo • Capacidad de segregar metabolitos o fitohormonas (ácido indolacético o auxinas) que ayudan al crecimiento vegetal. • Incrementa materia orgánica y nutrientes al suelo. 	(Pancho y Muñoz, 2023) (Liu et al., 2016) (Kusale et al., 2021) (Yang y Yang, 2020)
<i>Pantoea agglomerans</i> Beijerinck, 1888	<i>Onthophagus curvicornis</i> <i>Uroxys lojanus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fijadora de nitrógeno. • Aumenta la disponibilidad de nutrientes para la planta. • Mejora la calidad del suelo. • Sintetizan fitohormonas que ayudan a la estimulación del crecimiento de la raíz. • Capacidad para solubilizar fósforo. 	(Wijnant, 2008) (Loiret et al., 2004)
<i>Pantoea dispersa</i> Gavini et al., 1989	<i>Onthophagus curvicornis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Agente de control biológico. • Capaz de solubilizar fósforo. • Estimular notablemente el crecimiento de las partes verdes y raíz de las plantas 	(Torriente, 2010)

<i>Pseudomonas aeruginosa</i> Schroeter, 1872	<i>Onthophagus curvicornis</i> <i>Uroxys lojanus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Producen fitohormonas (ácido indolacético o auxinas) lo que mejora el crecimiento de las plantas 	(Motta et al., 2022)
<i>Pseudomonas fluorescens</i> Migula, 1895	<i>Dichotomius cotopaxi</i> <i>Onthophagus curvicornis</i> <i>Uroxys lojanus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de solubilizar fosforo. • Favorece a la absorción de agua y nutrientes para las plantas. • Producen fitohormonas (auxinas, giberelinas y citoquininas) para estimular el crecimiento vegetal. • Producen metabolitos sideróforos 	(Pérez et al., 2015) (Showkat et al., 2012)
<i>Pseudomonas putida</i> Trevisan, 1889	<i>Onthophagus curvicornis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de reducir el nitrógeno atmosférico y hacerlo disponible para el suelo. • Fijadora de nitrógeno. 	(Pérez et al., 2015)
<i>Pseudomonas stutzeri</i> Lehmann y Neumann, 1896	<i>Onthophagus curvicornis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Promotora de crecimiento vegetal. • Fijadora de nitrógeno en el suelo. 	(Vásquez y Muñoz, 2023)
<i>Serratia marsecens</i> Bizio, 1823	<i>Onthophagus curvicornis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fijadora de nitrógeno. • Capacidad de solubilizar fósforo. • Capacidad de resistir a patógenos y estimular el crecimiento vegetal. • Estimula el crecimiento de las plantas desde el interior de los tejidos vegetales (microorganismo endófito). • Producen fitohormonas (ácido indol-acético o auxinas). 	(Gupta et al., 2012) (Hernández et al., 2018)

Fuente: Elaboración y formulación propia

6.2. Comparación de las microbiotas intestinales de los escarabajos peloteros (*Coleoptera: Scarabaeinae*) colectados en un bosque alterado por un incendio, con el bosque natural y zona de pastizal de la Reserva Madrigal del Podocarpus

A continuación, se observan las especies bacterianas presentes en los escarabajos peloteros de las diferentes coberturas vegetales de la Reserva. En la figura 2 y 3, se puede observar como la bacteria *Pantoea agglomerans* es la especie más abundante tanto en los escarabajos de la zona de bosque natural como la zona de incendio forestal. Por otro lado, *Pseudomonas stutzeri*, registró una mayor abundancia en la zona de pastizal.

Asimismo, se registraron siete especies bacterianas compartidas de la zona de bosque natural con bosque restaurado (Figura 2 y 3), siendo éstas: *Pantoea agglomerans*, *Escherichia vulneris*, *Bacillus licheniformes*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida* y *Pseudomonas fluorescens*. Mientras que en la zona de bosque quemado con la zona de pastizal se comparten solamente 4 especies bacterianas (*P. aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. agglomerans* y *P. dispersa*).

Finalmente, las bacterias *Bacillus acidicola*, *B. firmus*, *Erwinia tasmaniensis* y *Serratia mascescens* están presentes solamente en la zona de incendio forestal (Figura 3), y *Pseudomonas stutzeri* que se registró únicamente en la zona de pastizal (Figura 4).

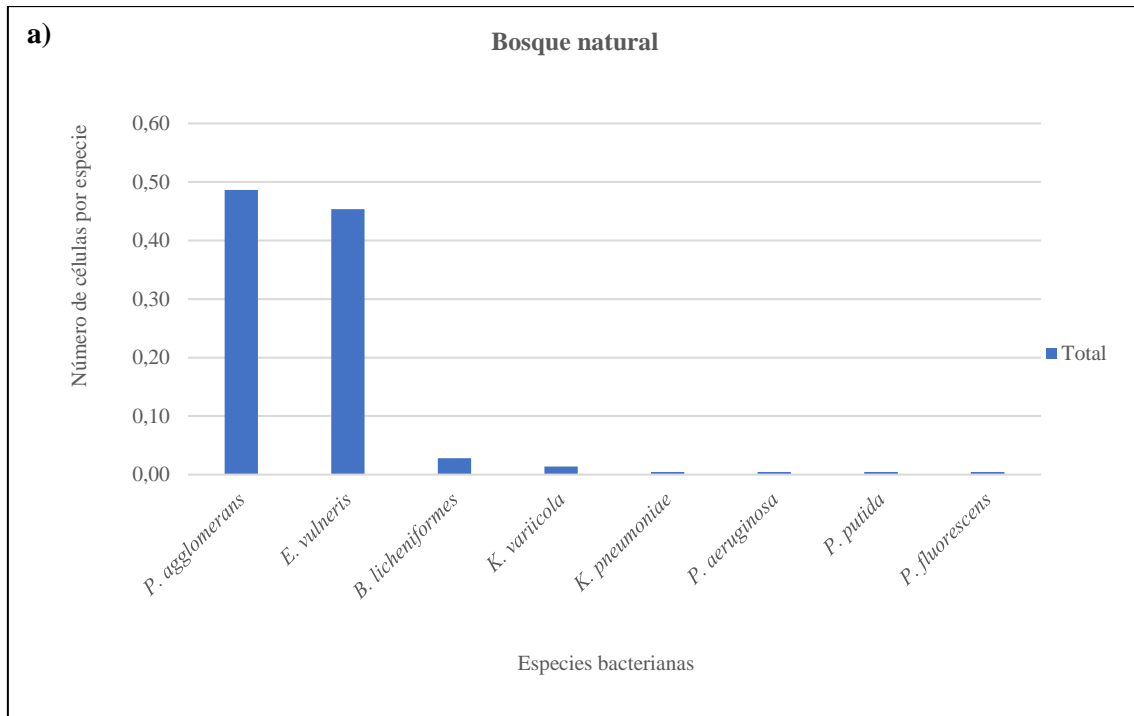


Figura 2. Abundancia de especies bacterianas presentes en los escarabajos peloteros de bosque natural.

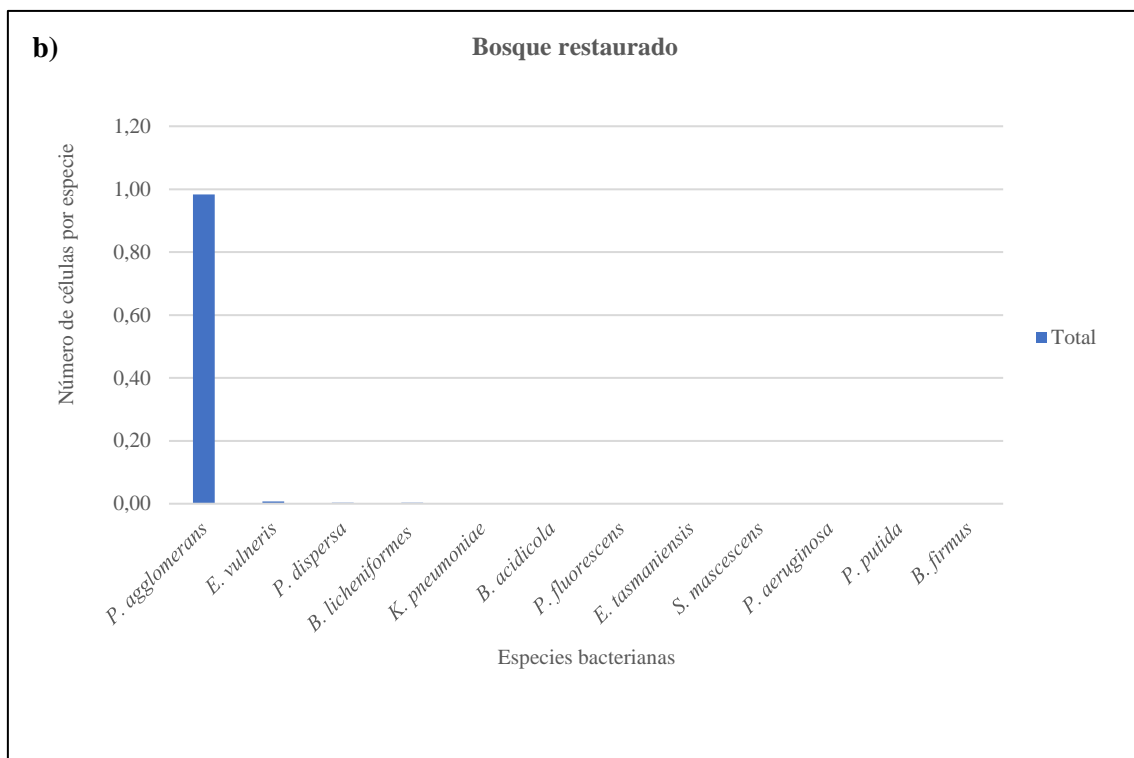


Figura 3. Abundancia de especies bacterianas presentes en los escarabajos peloteros de bosque restaurado (área de incendio forestal).

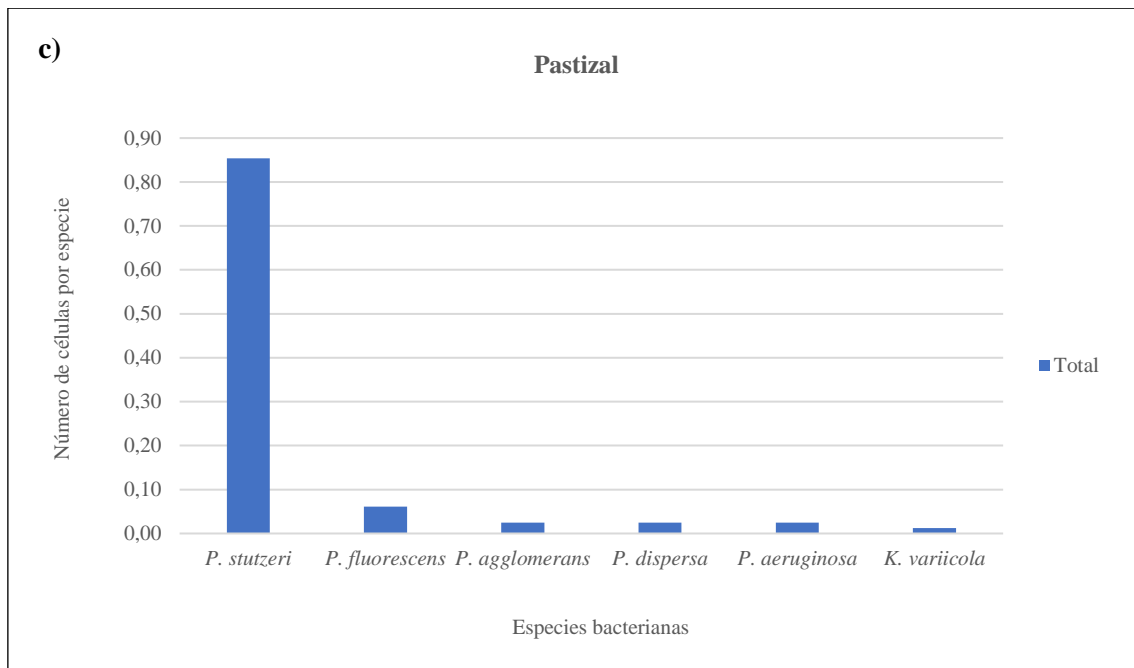


Figura 4. Abundancia de especies bacterianas presentes en los escarabajos peloteros en zona de pastizal.

7. Discusión

A través del presente estudio, se encontró que las bacterias que habitan en el tracto digestivo de los escarabajos peloteros de la zona quemada tienen similitud con las bacterias de los escarabajos de bosque natural, mientras que en comparación con la zona pastizal los resultados difieren.

En base a los resultados que se obtuvieron del muestreo de escarabajos peloteros realizado en la Reserva Madrigal del Podocarpus en la ciudad de Loja, se registraron tres especies: *Onthophagus curvicornis*, *Uroxys lojanus* y *Dichotomius cotopaxi*, especies con amplia distribución en la sierra ecuatoriana, principalmente en la provincia de Loja (Arias y Vaz de Mello, 2013; Chamorro et al., 2018), en rangos altitudinales de 2000 a 3100 metros sobre el nivel del mar (Arias y Vaz de Mello, 2013; Concha et al., 2010; García y Ñaupari, 2020). Además, autores como Cultid et al. (2012); Bustos y Lopera (2019); Sarmiento y Amat (2023) hacen referencia a que estas especies se encuentran presentes tanto en bosque naturales como en áreas de pastura. Por otro lado, Noriega et al. (2012) describe que *O. curvicornis* es una especie generalista, es decir, se lo puede encontrar en bosques conservados como restaurados o zonas intervenidas, al ser generalistas los convierten en especies tolerantes al estrés por disturbios, lo cual les permite adaptarse y desarrollarse en ambientes alterados.

Se lograron identificar especies con importancia ecológica como *B. acidicola*, *B. firmus* y *B. licheniformis*, de las cuales se destaca *B. licheniformis*, bacteria registrada en los escarabajos de la zona de bosque natural e incendio forestal de la reserva. Esta especie puede interactuar con el suelo de manera directa según lo menciona Tejera et al. (2011), debido a que tienen la capacidad de degradar sustratos, promover el crecimiento vegetal gracias a que producen fitohormonas como las auxinas, fijar nitrógeno al suelo y solubilizar fosfatos, Además, Angulo-Cortés et al. (2012) describe que esta especie no es susceptible ante patógenos ya que utiliza un mecanismo de resistencia. Al ser registrada en bosque restaurado (bosque quemado) podría ser beneficioso para esta área, contribuyendo a la rápida descomposición de materia orgánica y asimilación de nutrientes para el crecimiento de la cobertura vegetal.

Así mismo, entre otras especies bacterianas registradas con importancia ecológica se encuentran las especies pertenecientes al género *Klebsiella* como es el caso de *K. variicola* presente en la cobertura de bosque natural y pastizal. Es así que, según Pancho y Muñoz (2023), *K. variicola* es una bacteria capaz de fijar nitrógeno, ayuda a mejorar el desarrollo de las plantas e incluso es usada para remover contaminantes del suelo como metales pesados e hidrocarburos, por lo que es considerada una bacteria con potencial biotecnológico. Esta bacteria transforma el fosfato insoluble a formas solubles por medio de enzimas, lo cual favorece a la disponibilidad del fósforo en el suelo, y a su vez contribuye al crecimiento vegetal (Liu et al., 2016). Otra investigación realizada por Kusale et al. (2021), demostró el potencial que posee esta especie bacteriana para segregar metabolitos o fitohormonas, las cuales son promotoras del crecimiento vegetal. Yang y Yang (2020) obtuvieron resultados similares, ya que demostraron que la bacteria puede producir una fitohormona llamada ácido indolacético la cual promueve el crecimiento de la raíz de las plantas en cuanto altura y longitud, así mismo en el mismo estudio mencionan que la presencia de esta bacteria beneficia el incremento de materia orgánica y nutrientes en el suelo. Por otro lado, se encuentra *K. pneumoniae* que se registró en tanto en los escarabajos de la zona de bosque natural como en bosque quemado, la cual según Chelius y Triplett (2000) es un microorganismo que favorece a la fijación de nitrógeno en el interior de la raíz de la planta es decir es una bacteria endófito. Además, Clavijo et al. (2012) demostraron que esta especie estimula el crecimiento vegetal debido a su capacidad para solubilizar fosfatos y producir fitohormonas como las auxinas.

Otra especie que juega un rol importante según Motta et al. (2022) es *Pseudomonas fluorescens*, su presencia se evidenció en los escarabajos pertenecientes a las tres coberturas vegetales de la reserva. Esta especie es una de las más estudiadas y considerada dentro del grupo de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RBPCV). Así mismo, Pérez et al. (2015) mencionan que *P. fluorescens* posee la capacidad para solubilizar fósforo mediante la producción de ácidos orgánicos como el ácido cítrico y glucónico, los cuales actúan sobre el pH del suelo facilitando la solubilización del fosforo inorgánico e incorporándolo al suelo, esto genera una mayor producción de fosfato disponible para ser absorbido por las raíces de las plantas. Incluso destaca que esta bacteria posee la capacidad de ayudar a absorber mayor cantidad agua y nutrientes a las plantas lo que genera que estas crezcan más vigorosas y sean tolerantes a los cambios climáticos. Pérez et al. (2015) también menciona que *P. fluorescens* posee otra característica interesante que es la producción de fitohormonas o enzimas promotoras del crecimiento de las plantas, entre las principales se encuentran las auxinas, giberelinas y citoquininas. Aparte de producir fitohormonas para el crecimiento vegetal, Showkat et al. (2012) describen que producen metabolitos sideróforos los cuales se encargan de secuestrar el hierro del entorno para que la planta la absorba y evitar la deficiencia del mismo. Al estar presente en las dos zonas intervenidas de la reserva (incendio forestal y pastizal) podría acelerar posiblemente el desarrollo de nuevas especies y unido a esto la restauración de estas áreas degradadas.

Finalmente, se encuentra *Pantoea agglomerans*, una especie que se presentó en mayor abundancia en la zona de incendio forestal de la reserva, esto puede relacionarse a la alta capacidad que poseen las bacterias para recolonizarse en suelos quemados creando así condiciones más favorables para algunas especies que prefieren ambientes ácidos. Aparte de que los incendios forestales liberan nitrógeno y fosforo, nutrientes usados por las bacterias para estimular el crecimiento de las plantas, Loiret et al. (2004) y Wijnant (2008) señalan en sus investigaciones, que *P. agglomerans* es una especie bacteriana promotora de crecimiento vegetal (BPCV), ya que interviene en procesos de fijación de nitrógeno al suelo y solubilización de fosfatos.

Se identificó un mayor número de especies bacterianas en la zona de incendio forestal a diferencia de la zona de bosque natural y pastizal. Lo que puede estar asociado con la actividad de los escarabajos peloteros dentro de esta zona en restauración. Autores como Arellano y Castillo (2014), Armúa de Reyes et al. (2004) y Quintero et al. (2009),

mencionan que la actividad de los escarabajos peloteros puede aumentar post incendio, debido a que esta perturbación genera una sucesión ecológica involucrando un ajuste de las cadenas tróficas. Tal como lo señala Cordero (2022), un claro ejemplo de sucesión ecológica es la presencia de *Puya parviflora* L.B.Sm que resurgió debido a la estimulación del fuego en esa zona, misma que sirvió de alimento para el oso andino (*Tremarctos ornatus* F.G.Cuvier, 1825), que según Castillo (2017) la actividad del mamífero aumentó considerablemente en esta área degradada. De acuerdo a esto, es posible que la presencia de escarabajos peloteros en bosque quemado, pudiera estar directamente relacionada con la presencia del oso andino y otros mamíferos que aprovechan la flora de sucesión temprana, puesto que los escarabajos utilizan el estiércol que producen estos mamíferos y otros vertebrados para realizar sus funciones biológicas.

Seguidamente, el análisis comparativo respondió a la pregunta de investigación planteada, mostrando que existe un gran número de especies de bacterias compartidas entre las zonas de bosque en restauración (área quemada) y bosque natural, siendo *Pantoea agglomerans* la bacteria más abundante en estas zonas, esto puede deberse según como lo mencionan (Egert y Brune, 2003) que el incendio no afectó a su microbiota debido a que las bacterias que viven en asociación con los escarabajos peloteros tienden a ser simbiontes facultativos, como lo muchas de ellas pueden adaptarse rápidamente a diferentes condiciones al modificar su metabolismo. Otra razón sería que gracias a que los escarabajos peloteros suelen tener una amplia capacidad de desplazamiento, esto les permite moverse entre diferentes zonas. Al hacerlo, pueden transportar bacterias de un ambiente a otro, contribuyendo a la similitud entre las comunidades microbianas de distintas áreas, ya sean alteradas o no.

Por otro lado, en la zona de incendio con zona de pastizal existe una menor cantidad de especies bacterianas compartidas y se puede atribuir a que la calidad y tipo de alimento que consumen los escarabajos son completamente diferente a las áreas boscosas. Tal como lo señala García-Olaechea et al. (2023) en su investigación, donde los escarabajos que se encuentran en una zona de pastizal, disponen de recursos más limitados en comparación con la zona post incendio, existiendo una gama más amplia de fuentes de alimento. Estos tipos de recursos de distintas fuentes y el contacto con entornos diferentes pueden generar comunidades bacterianas particulares.

Si bien se conocen los roles que cumplen los escarabajos dentro de las diferentes coberturas vegetales y qué bacterias con importancia ecológica habitan en su tracto digestivo, se requiere de investigaciones a largo plazo para conocer el impacto ecológico de estas especies bacterianas en zonas intervenidas o alteradas por un incendio forestal.

8. Conclusiones

Se atribuye a las especies bacterianas registradas en los escarabajos peloteros pertenecientes a las tres coberturas vegetales estudiadas (bosque natural, incendio forestal y pastizal) de la reserva Madrigal, funciones similares en cuanto a importancia ecológica. Las funciones que las bacterias puedan desarrollar en el medio donde se las registraron son, fijación de nitrógeno, solubilización del fósforo, producción de ácido indol acético o fitohormonas, todas estas características contribuyen al crecimiento vegetal.

En última instancia se afirma que al existir similitud entre especies bacterianas de los escarabajos de la zona de incendio y bosque natural, puede deberse a varias razones, en primer lugar, que el incendio no repercutió sobre la microbiota intestinal de los escarabajos peloteros de la zona de incendio, debido a que las bacterias desarrollaron resiliencia contra condiciones adversas facilitándoles cumplir sus funciones en ecosistemas alterados; en segundo, que ciertos escarabajos generalistas son capaces de desplazarse entre las dos coberturas junto con su microbiota; o que luego de 7 años de restauración el área quemada está restaurándose satisfactoriamente. Por otro lado, entre las especies bacterianas de escarabajos de la zona de incendio y pastizal existen menos especies compartidas, y puede significar que las condiciones ambientales del pastizal probablemente no son propicias para que habiten ciertas bacterias benéficas.

9. Recomendaciones

Debido a que *Pantoea agglomerans* fue la especie bacteriana más abundante en bosque en restauración y sabiendo que es fijadora de nitrógeno, ayuda a solubilizar fósforo y generar fitohormonas, contribuyendo directamente al crecimiento vegetal, se recomienda realizar un estudio a profundidad para conocer cómo la presencia de esta especie puede influir en la regeneración de paisajes perturbados.

Impulsar investigaciones en más zonas que han sido afectadas por un incendio forestal a una escala mayor con la finalidad de conocer a mayor detalle los impactos que genera este disturbio en las comunidades bacterianas de los escarabajos peloteros u otros insectos.

Continuar con las investigaciones sobre la composición microbiana de los escarabajos peloteros en distintas zonas dentro y fuera de la ciudad de Loja para realizar un análisis comparativo entre diferentes lugares en donde las condiciones climáticas y cobertura vegetal es distinta.

Realizar un estudio que abarque una comparación de microbiotas intestinales de diferentes especies de escarabajos peloteros pertenecientes a una misma área intervenida, que puede ser pastizal o bosque quemado dentro de la reserva Madrigal del Podocarpus.

10. Bibliografía

- Amat, G. E. C., Amat, G. D., & Henao, M. L. G. (2023). Diversidad taxonómica y ecológica de la entomofauna micófaga en un bosque altoandino de la cordillera oriental de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 28(107), 223-231. [https://doi.org/10.18257/raccefyn.28\(107\).2004.1992](https://doi.org/10.18257/raccefyn.28(107).2004.1992)
- Andrade, R. B. D., Barlow, J., Louzada, J., Vaz-de-Mello, F. Z., Souza, M., Silveira, J. M., & Cochrane, M. A. (2011). Quantifying Responses of Dung Beetles to Fire Disturbance in Tropical Forests: The Importance of Trapping Method and Seasonality. *PLoS ONE*, 6(10), e26208. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026208>
- Angulo, J. P., García, A., Pedroza, A. M., Martínez, M. M., & Gutiérrez-Romero, V. (2012). Diseño de un medio para la producción de un co-cultivo de bacterias fosfato solubilizadoras con actividad fosfatasa. *Universitas Scientiarum*, 17(1), 43. <https://doi.org/10.11144/javeriana.SC17-1.doac>
- Arellano, L., & Castillo, C. (2014). Efecto de los incendios forestales no controlados en el ensamble de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un bosque templado del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(3), 854-865. <https://doi.org/10.7550/rmb.41756>
- Arias-Buriticá, J. A., & Vaz-de-Mello, F. Z. (2013). *Dichotomius ribeiroi* (Pereira, 1954) (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): Redescipción y anotaciones taxonómicas de la especie *Dichotomius ribeiroi* (Pereira, 1954) (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): Redescription and taxonomic annotations of the species.
- Armenteras, D., Romero, M., & Galindo, G. (2005). *Vegetation fire in the savannas of the Llanos Orientales of Colombia*.
- Armúa de Reyes, C., Bernardis, A. C., Mazza, S. M., y Goldfarb, M. C. (2004). Efecto del fuego sobre la fauna de invertebrados de un pastizal al noroeste de Corrientes. *Agrotecnia*, 13(13), 3. <https://doi.org/10.30972/agr.013443>
- Baker, S. (2017). Investigation of natural regeneration of vascular plants in the Madrigal Reserve of the Podocarpus. *Independent Study Project (ISP)*, 2557, 22. https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/2557
- Bang, H. S., Lee, J.-H., Kwon, O. S., Na, Y. E., Jang, Y. S., & Kim, W. H. (2005). Effects of paracoprid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on the growth of pasture

- herbage and on the underlying soil. *Applied Soil Ecology*, 29(2), 165-171. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.11.001>
- Barlow, J., & Peres, C. A. (2004). AVIFAUNAL RESPONSES TO SINGLE AND RECURRENT WILDFIRES IN AMAZONIAN FORESTS. *Ecological Applications*, 14(5), 1358-1373. <https://doi.org/10.1890/03-5077>
- Beynon, S. A., Wainwright, W. A., & Christie, M. (2015). The application of an ecosystem services framework to estimate the economic value of dung beetles to the U.K. cattle industry. *Ecological Entomology*, 40(S1), 124-135. <https://doi.org/10.1111/een.12240>
- Boonrotpong, S., Sotthibandhu, S., & Pholpunthin, C. (2004). *Species Composition of Dung Beetles in the Primary and Secondary Forests at Ton Nga Chang Wildlife Sanctuary*.
- Broderick, N. A., Raffa, K. F., Goodman, R. M., & Handelsman, J. (2004). Census of the Bacterial Community of the Gypsy Moth Larval Midgut by Using Culturing and Culture-Independent Methods. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(1), 293-300. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.1.293-300.2004>
- Castillo, A. (2016). *Senderización y señalética de la Reserva Privada “El Madrigal” de la Parroquia San Sebastián del Cantón y Provincia de Loja*.
- Celi, J., & Dávalos, A. (2001). *Manual de monitoreo, los escarabajos peloteros: Como indicadores de la calidad ambiental* (1. ed). EcoCiencia.
- Chamorro, W., Gallo, F., Delgado, S., Enríquez, S., Guasumba, V., y López, G. (2019). Los escarabajos estercoleros (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) del Bosque Protector Oglán Alto, Pastaza, Ecuador. *Biota Colombiana*, 20(1), 34–49. <https://doi.org/10.21068/c2019.v20n01a03>
- Chamorro, W., Marín, D., Granda, V., & Fernando, V.-D.-M. (2018). Checklist with a key to genera and subgenera of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) present and supposed for Ecuador. *Revista Colombiana de Entomología*, 44(1), 72–100. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6545>
- Chelius, M. K., & Triplett, E. W. (2000). Immunolocalization of Dinitrogenase Reductase Produced by *Klebsiella pneumoniae* in Association with *Zea mays* L. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(2), 783-787. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.2.783-787.2000>
- Chirico, J., Wikteliuss, S., & Waller, P. J. (2003). Dung beetle activity and the development of trichostrongylid eggs into infective larvae in cattle faeces.

- Veterinary Parasitology*, 118(1-2), 157-163.
<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2003.09.013>
- Clavijo, C., Chipana, V., Centeno, J., Zúñiga, D., & Guillén, C. (2012). AISLAMIENTO, CARACTERIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE BACTERIAS DIAZOTRÓFICAS DE LA RIZÓSFERA DEL CULTIVO DE *Olea europea* “OLIVO” EN TACNA PERÚ. *Ecología Aplicada*, 11(1-2), 89.
<https://doi.org/10.21704/rea.v11i1-2.429>
- Cochrane, M. A. (2003). Fire science for rainforests. *Nature*, 421(6926), 913-919.
<https://doi.org/10.1038/nature01437>
- Collett, N. (2003). Short and long-term effects of prescribed fires in autumn and spring on surface-active arthropods in dry sclerophyll eucalypt forests of Victoria. *Forest Ecology and Management*, 182(1-3), 117-138. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00009-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00009-4)
- Colman, D. R., Toolson, E. C., & Takacs-Vesbach, C. D. (2012). Do diet and taxonomy influence insect gut bacterial communities? *Molecular Ecology*, 21(20), 5124-5137. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05752.x>
- Cordero, M. B. (2022). Efecto de un incendio forestal sobre la diversidad de escarabajos copronecrófagos (coleoptera: scarabaeinae) en la reserva Madrigal del Podocarpus, Loja. [Tesis, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio digital de la Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/25634>
- Jiménez, J. P. (2023). Caracterización por medios dependientes de cultivo de comunidades bacterianas de escarabajos estercoleros (Coleoptera: Scarabaeinae) y de suelos conservados y alterados por incendios de la Reserva El Madrigal del Podocarpus, Loja. [Tesis, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio digital de la Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/26478>
- Corrales, L. C., Caycedo, L., Gómez, M. A., Ramos, S. J., & Rodríguez, J. N. (2017). *Bacillus* spp: Una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*, 15(27), 45-65. <https://doi.org/10.22490/24629448.1958>
- Cultid, C., Medina, C., Martínez, B., Escobar, A., Constantino, L., y Betancur, N. (2012). Escarabajos coprófagos (Scarabaeinae) del Eje Cafetero: guía para el estudio ecológico. In *Biota Colombiana*. 2012. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1013.9049>

- Davis, A. J., Holloway, J. D., Huijbregts, H., Krikken, J., Kirk-Spriggs, A. H., & Sutton, S. L. (2001). Dung beetles as indicators of change in the forests of northern Borneo. *Journal of Applied Ecology*, 38(3), 593-616. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00619.x>
- Ebert, K. M., Arnold, W. G., Ebert, P. R., & Merritt, D. J. (2021). Hindgut Microbiota Reflects Different Digestive Strategies in Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *Applied and Environmental Microbiology*, 87(5), e02100-20. <https://doi.org/10.1128/AEM.02100-20>
- Egert, M., & Brune, A. (2003). Diversity of bacteria in the intestinal tract of termites and other soil invertebrates. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(11), 6658–6668. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.11.6658-6668.2003>
- Falqueto, S.A., de Sousa, J.R., da Silva, R.C. *et al.* Larval gut microbiome of *Pelidnota luridipes* (Coleoptera: Scarabaeidae): high bacterial diversity, different metabolic profiles on gut chambers and species with probiotic potential. *World J Microbiol Biotechnol* 38, 210 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11274-022-03387-1>
- Fernández, G. F., Silva, B., Gawlik, J., Thies, B., & Bendix, J. (2013). Bracken fern frond status classification in the Andes of southern Ecuador: Combining multispectral satellite data and field spectroscopy. *International Journal of Remote Sensing*, 34(20), 7020–7037. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.813091>
- Figuerola, L., & Alvarado, M. (2011). Coleópteros coprófagos (Scarabaeidae: Scarabaeinae) de la Reserva Nacional Tambopata, Madre de Dios, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 18(2), 209–212. <https://doi.org/10.15381/rpb.v18i2.230>
- Galvis, J., Quiñonez, R., & Jiménez, P. (2009). Aislamiento de microorganismos del Tracto Digestivo de Larvas de Coleópteros y Lepidópteros. *Facultad de Ciencias Básicas Universidad Militar Nueva Granada*, 5(1), 106–113.
- García, M. S., & Ñaupari, K. F. (2020). *Diversidad de coleópteros en zonas agrícolas de la provincia de Pichincha, Ecuador*.
- Gutiérrez, C., Ortiz, J., Flores, J., & Zamora, P. (2012). Diversidad, estructura y composición de las especies leñosas de la selva mediana subcaducifolia del Punto de Unión Territorial (PUT) de Yucatán, México. *Polibotánica*, (33), 151-174. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140527682012000100010&lng=es&tlng=es.
- Gupta, B., Gupta, K., & Mukherjee, S. (2013). Lipase production by *Serratia marcescens* strain SN5gR isolated from the scat of lion-tailed macaque (*Macaca silenus*) in

- Silent Valley National Park, a biodiversity hotspot in India. *Annals of +Microbiology*, 63(2), 649-659. <https://doi.org/10.1007/s13213-012-0515-7>
- Hernández, K., Covacevich, F., Aparicio, V. C., & De Gerónimo, E. (2018). *BACTERIAS NATIVAS DEL SUELO CON POTENCIAL PARA LA DEGRADACIÓN DE GLIFOSATO Y PROMOCIÓN DEL CRECIMIENTO VEGETAL*.
- Kolasa, M., Ścibior, R., Mazur, M. A., Kubisz, D., Dudek, K., & Kajtoch, Ł. (2019). How Hosts Taxonomy, Trophy, and Endosymbionts Shape Microbiome Diversity in Beetles. *Microbial Ecology*, 78(4), 995-1013. <https://doi.org/10.1007/s00248-019-01358-y>
- Kusale, S. P., Attar, Y. C., Sayyed, R. Z., Malek, R. A., Ilyas, N., Suriani, N. L., Khan, N., & El Enshasy, H. A. (2021). Production of Plant Beneficial and Antioxidants Metabolites by *Klebsiellavariicola* under Salinity Stress. *Molecules*, 26(7), 1894. <https://doi.org/10.3390/molecules26071894>
- Lagunas, J., Zavaleta, E., Osada, S., & Luna, I. (2001). *Bacillus firmus* como Agente de Control Biológico de *Phytophthora capsici* Leo. En *Jitomate (Lycopersicon esculentum Mill.)*.
- Lee, C. M., & Wall, R. (2006). Cow-dung colonization and decomposition following insect exclusion. *Bulletin of Entomological Research*, 96(3), 315-322. <https://doi.org/10.1079/BER2006428>
- Liu, W., Wang, Q., Hou, J., Tu, C., Luo, Y., & Christie, P. (2016). Whole genome analysis of halotolerant and alkalotolerant plant growth-promoting rhizobacterium *Klebsiella* sp. D5A. *Scientific Reports*, 6(1), 26710. <https://doi.org/10.1038/srep26710>
- Loiret, F. G., Ortega, E., Kleiner, D., Ortega-Rodes, P., Rodes, R., & Dong, Z. (2004). A putative new endophytic nitrogen-fixing bacterium *Pantoea* sp. From sugarcane. *Journal of Applied Microbiology*, 97(3), 504-511. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02329.x>
- Lopes, F., Rossini, M., Losacco, F., Montanaro, G., Gunter, N., & Tarasov, S. (2023). Metagenomics reveals that dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) broadly feed on reptile dung. Did they also feed on that of dinosaurs? *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1132729>
- Losey, J. E., & Vaughan, M. (2006). The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. *BioScience*, 56(4), 311. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[311:TEVOES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[311:TEVOES]2.0.CO;2)

- Motta, S., Salazar, L. D., & Sánchez, L. C. (2022). Perspectiva del uso de *Pseudomonas* spp. como biocontrol de fitopatógenos en cultivos de hortalizas en Colombia: Una revisión sistemática. *Revista Mutis*, *12*(2). <https://doi.org/10.21789/22561498.1862>
- Nardi, J. B., Bee, C. M., Miller, L. A., Nguyen, N. H., Suh, S.-O., & Blackwell, M. (2006). Communities of microbes that inhabit the changing hindgut landscape of a subsocial beetle. *Arthropod Structure & Development*, *35*(1), 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.asd.2005.06.003>
- Nasi, R., Dennis, R., Meijaard, E., Applegate, G., & Moore, P. (2002). *Forest fire and biological diversity*. 53.
- Nichols, E., Gardner, T. A., Peres, C. A., Spector, S., & The Scarabaeinae Research Network. (2009). Co-declining mammals and dung beetles: An impending ecological cascade. *Oikos*, *118*(4), 481-487. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.17268.x>
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezquita, S., & Favila, M. E. (2008). Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*, *141*(6), 1461-1474. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.011>
- Noriega, J. A., Palacio, J. M., Monroy, J. D., y Valencia, E. (2012). Estructura De Un Ensamblaje De Escarabajos Coprófagos Uso Del Suelo En Antioquia , Colombia. *Laboratorio de Zoología y Ecología Acuática*, *34*(96), 43-54. https://www.academia.edu/24312992/Estructura_de_un_ensamblaje_de_escalabajos_coprófagos_Coleoptera_Scarabaeinae_en_tres_sitios_con_diferente_uso_d_el_suelo_en_Antioquia_Colombia
- Pancho, A. M., & Muñoz, J. (2023). *Aplicaciones de Klebsiella variicola y uso potencial en la producción agrícola*.
- Parker, E. S., Newton, I. L. G., & Moczek, A. P. (2020). (My Microbiome) Would Walk 10,000 miles: Maintenance and Turnover of Microbial Communities in Introduced Dung Beetles. *Microbial Ecology*, *80*(2), 435-446. <https://doi.org/10.1007/s00248-020-01514-9>
- Pérez, S., Coto, O., Pérez, M., & Ávila, G. (2015). *Pseudomonas fluorescens* Migula, ¿control biológico o patógeno? *30*(3).

- Perez, L. C., Rodriguez, R. I., Basto, G. S., Reyes, E., Martinez, I., Ojeda, M., & Favila, M. E. (2018). Revista Mexicana de Biodiversidad sobre los escarabajos estercoleros: Una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, 1293-1314.
- Poveda Arias, J. (2019). The microorganisms associated with insects and their application in agriculture. *Revista Digital Universitaria*, 20(1), 1–15. <https://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a2>
- Quintero, I., y Halffter, G. (2009). Temporal Changes In A Community Of Dung Beetles (Insecta: Coleoptera: Scarabaeinae) Resulting From The Modification And Fragmentation Of Tropical Rain Forest. *Acta Zoológica Mexicana*, 25(3), 625–649. <https://doi.org/10.21829/azm.2009.253665>
- Rangel, J. L., Blanco, O. R., & Martínez, N. J. (2016). Copro- necro phagous beetles (scarabaeidae: Scarabaeinae) in differentland use at la reserva campesina la montaña (RCM) in the deparment of atlántico, Colombia [Escarabajos copro- necrófagos (scarabaeidae: Scarabaeinae) en diferentes usos del suelo en la re. *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 20(1), 78–97. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85000948392&doi=10.17151%2Fbccm.2016.20.1.7&partnerID=40&md5=ad0ca9825305ecf38cada5f0c2b2b04c>
- Rangel, J. L., Martínez, N. J., & Yonoff-Zapata, R. (2020). Respuesta de los escarabajos coprófagos (Scarabaeidae: Scarabaeinae) a la modificación del hábitat causada por un incendio forestal en la Reserva Bijibana, Atlántico-Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91(0). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.2879>
- Saint-Germain, M., Larrivéé, M., Drapeau, P., Fahrig, L., & Buddle, C. M. (2005). Short-term response of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) to fire and logging in a spruce-dominated boreal landscape. *Forest Ecology and Management*, 212(1-3), 118-126. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.001>
- Sancllemente, O., Yacumal, V., & Patiño, C. (2017). Solubilización de fosfatos por bacterias nativas aisladas en tres agroecosistemas del Valle del Cauca (Colombia). *Temas Agrarios*, 22(2), 61-69. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.945>
- Sarmiento, R., y Amat, G. (2009). Escarabajos del género dichotomius Hope 1838 (scarabaeidae: scarabaeinae) en la amazonía colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 33(127), 285–296.

- Showkat, S., Murtaza, I., Majeed, O., & Ali, A. (2012). Biological Control of Fusarium Oxysporum and Aspergillus Sp. By Pseudomonas Fluorescens Isolated From Wheat Rhizosphere Soil Of Kashmir. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 1(4), 24-32. <https://doi.org/10.9790/3008-0142432>
- Slade, E. M., Riutta, T., Roslin, T., & Tuomisto, H. L. (2016). The role of dung beetles in reducing greenhouse gas emissions from cattle farming. *Scientific Reports*, 6(1), 18140. <https://doi.org/10.1038/srep18140>
- Tejera, B., Rojas, M., & Heydrich, M. (2011). *Potencialidades del género Bacillus en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos*. 42(3).
- Vasquez M., L. E., & Muñoz R., J. (2023). *Pseudomonas putida KT2440, como una potencial bacteria promotora del crecimiento en cultivos agrícolas*.
- Wijnant Maclean, C. A. (2008). *Efecto promotor del crecimiento vegetal de dos cepas de Pantoea agglomerans (Ewing y Fife, 1972) sobre ballica inglesa (Lolium perenne L.) Cv. Nui*.
- Yang, L., & Yang, K. (2020). Biological function of *Klebsiella variicola* and its effect on the rhizosphere soil of maize seedlings. *PeerJ*, 8, e9894. <https://doi.org/10.7717/peerj.9894>
- Wang, X., Jordan, I. K., y Mayer, L. W. (2015). A Phylogenetic Perspective on Molecular Epidemiology. En Elsevier eBooks (pp. 517-536). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-397169-2.00029-9>

11. Anexos

Anexo 1. Permiso de investigación para colecta de especies, otorgado por el MAATE.

AUTORIZACIÓN DE RECOLECCION DE ESPECIMENES DE ESPECIES DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA No. 3082

ESTUDIANTES E INVESTIGADORES (SIN FINES COMERCIALES)

1.- AUTORIZACIÓN DE RECOLECTA DE ESPECÍMENES DE ESPECIES LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA

2.- CÓDIGO

MAATE-ARSFC-2023-3082

3.- DURACIÓN DEL PROYECTO

FECHA INICIO	FECHA FIN
2023-04-23	2024-04-23

4.- COMPONENTE A RECOLECTAR

Animal
Bacteria

El Ministerio del Ambiente y Agua, en uso de las atribuciones que le confiere la Codificación a la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre autoriza a:

5.- INVESTIGADORES /TÉCNICOS QUE INTERVENDRÁN EN LAS ACTIVIDADES DE RECOLECCION

Nº de C./Pasaporte	Nombres y Apellidos	Nacionalidad	Nº REGISTRO SENESCYT	EXPERIENCIA	GRUPO BIOLÓGICO
1712734829	PAUCAR CABRERA AJRA DEL CARMEN	Ecuatoriana	7241143118		Gammaproteobacteria;Insecta
1150977484	VILLAMAGUA CARRION LORENA JHULIANA	Ecuatoriana	S/N		Gammaproteobacteria;Insecta
1900896539	CHILLOGALLO PINEDA JACKELIN LIZBETH	Ecuatoriana	S/N		Gammaproteobacteria;Insecta

Anexo 2. Colocación de trampas de caídas en la reserva Madrigal del Podocarpus.



Anexo 3. Trampa de caída activa.



Anexo 4. Paisaje restaurado de la reserva Madrigal de Podocarpus, provincia de Loja.



Anexo 5. Certificación de traducción del Resumen (Abstract).

Loja, 4 de agosto de 2024

Mgtr.

Edgar M. Castillo C.

MAGÍSTER EN PEDAGOGÍA PARA LA ENSEÑANZA DEL IDIOMA INGLÉS COMO LENGUA EXTRANJERA

Certifica. -

Haber traducido de español a inglés el resumen del trabajo de integración curricular titulado: **Microbiota intestinal de escarabajos peloteros (Scarabaeinae) de un área afectada por un incendio forestal en la Reserva Madrigal del Podocarpus, Loja**, de la autoría de la estudiante Lorena Jhuliana Villamagua Carrión, C.I.: 1150977484, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Loja.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo la interesada hacer uso del presente documento cuando lo considere conveniente.



Firmado electrónicamente por:
**EDGAR MARIANO
CASTILLO CUESTA**

Edgar M. Castillo C.
DOCENTE LA CARRERA DE PEDAGOGÍA
DE LOS IDIOMAS NACIONALES Y
EXTRANJEROS DE LA UNL
*Nro. Reg. Senescyt: 1031-
07-785748*