

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

Tema: “Identificación de microorganismos eficientes autóctonos del suelo EMAS en el Bosque Polylepis y en la Reserva Ecológica El Ángel”

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingeniero en Agropecuaria

AUTOR: Cadena Narváez Edwin Bladimir

TUTOR: MSc. Balarezo Urrestra Luis Rodrigo, PhD.

Tulcán, 2026.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el estudiante Cadena Narváez Edwin Bladimir con el número de cédula 0401866827 ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Identificación de microorganismos eficientes autóctonos del suelo EMAS en el Bosque Polylepis y en la Reserva Ecológica EL Ángel"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en la Codificación del Reglamento de Régimen Académico y de Estudiantes de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

MSc. Balarezo Urrestra Luis Rodrigo, PhD.

TUTOR

Tulcán, junio de 2026

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en la Carrera de agropecuaria de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Cadena Narváez Edwin Bladimir, con cédula de identidad número 0401866827, declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



Cadena Narváez Edwin Bladimir

AUTOR

Tulcán, junio de 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Cadena Narváez Edwin Bladimir declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Identificación de microorganismos eficientes autóctonos del suelo EMAS en el Bosque Polylepis y en la Reserva Ecológica EL Ángel" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Cadena Narváez Edwin Bladimir

AUTOR

Tulcán, junio de 2026

AGRADECIMIENTO

Ante todo, agradezco a Dios, quien ha trazado mi camino y me ha guiado por la senda correcta; en todo momento ha estado conmigo, ayudándome a aprender de mis errores para no repetirlos. Los resultados de este trabajo se los dedico a todas las personas que, de alguna manera, formaron parte de su culminación. Agradezco a quienes pusieron a prueba su capacidad y conocimiento durante el desarrollo de esta tesis, que ha superado todas las expectativas. A mi familia, por su apoyo incondicional y motivación en mi formación académica; ellos confiaron siempre en mí y nunca dudaron de mi intelecto. A los respetados maestros, a quienes debemos gran parte de esta educación, gracias por su paciencia y enseñanza. Finalmente, mi eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad, que abre sus puertas a jóvenes deseosos de superación y nos prepara para un futuro competitivo, formando profesionales que contribuyan al progreso de la sociedad.

Edwin Bladimir Cadena Narváez

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto la dedico a mis padres, César Edwin Cadena y Anita Lucía Narváez, un pilar fundamental en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora soy, su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos un gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos.

También dedico este proyecto a mis hermanos: Aníbal, Cristian Lizbeth y Anita Cadena Narváez. Quienes confiaron plenamente en mí ante cada desafío, sin poner en duda ni por un instante mi inteligencia y capacidad, y que además fueron un gran apoyo en mis momentos de desánimo y agotamiento. A ellas les dedica este proyecto; gracias a ellas soy lo que soy hoy.

Edwin Bladimir Cadena Narváez

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
I. EL PROBLEMA	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. Objetivo General	19
1.4.2. Objetivos Específicos	19
1.4.3. Preguntas de Investigación	19
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.2. MARCO TEÓRICO	23
2.2.1 Microorganismos Eficientes (EM)	23
2.2.2 Microorganismos Eficientes Autóctonos (EMAS)	23
2.2.3 Diferencia entre EM comercial y EMAS	24
2.2.4 Ecología de los Suelos Altoandinos.....	24
2.2.5 Identificación y caracterización Microbiana.....	24
2.2.6 Morfología Microscópica.....	25
2.2.7 Bacterias	25
2.2.8 Hongos (filamentosos)	26
2.2.9 Unidades Formadoras de Colonias (UFC): Fundamento del conteo poblacional y diluciones seriadas.....	26

2.2.10 Tipos de microorganismos del suelo.....	27
2.2.11 Tipos de microorganismos eficientes autóctonos del suelo Emas.....	28
2.2.12 Tipos de microorganismos eficientes autóctonos del suelo Emas capturados e identificados en el bosque.....	29
2.2.13 Consorcio microbiano.....	32
2.2.14 Aplicación de microorganismos eficientes en la agricultura.....	33
2.2.15 Agar PDA.....	33
2.2.16 Melaza.....	33
III. METODOLOGÍA.....	35
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO.....	35
3.1.1. Enfoque.....	35
3.1.2. Tipo de Investigación.....	35
3.2. HIPÓTESIS.....	36
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	37
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS.....	38
3.4.1 Método Inductivo:.....	38
3.4.2 Método Analítico.....	38
3.4.3 Captura.....	38
3.4.4 Localización del experimento.....	38
3.4.5 Técnica para la captura de microorganismos.....	38
3.4.6 Técnicas de cultivo en placa.....	39
3.4.7 Técnicas.....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1. RESULTADOS.....	42
4.2. DISCUSIÓN.....	51
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
VII. ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables.....	37
Tabla 2. Cuadro de diluciones de las diferentes muestras.....	42
Tabla 3. Características morfológicas de hongos presentes en el bosque Polylepis y en la reserva ecológica El Ángel.	44
Tabla 4. Características morfológicas de bacterias presentes en el bosque Polylepis y en la reserva ecológica El Ángel.....	45
Tabla 5. Resultados Emas Bosque Polylepis.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características macro y microcópicas de Candida sp. (levadura)	30
Figura 2. Características macro y microscópicas de Saccharomyces sp.	30
Figura 3. Características macro y microscópicas de Streptomyces sp.....	31
Figura 4. Características microscópicas de Murcor sp	32
Figura 5. Diluciones.....	43
Figura 6. Incubaciones.....	43
Figura 7. Micelios de hongos	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de predefensa del TIC.....	58
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas	58

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo identificar los microorganismos eficientes autóctonos del suelo (EMAS) presentes en dos ecosistemas altoandinos de la provincia del Carchi, cantón Espejo, ciudad de El Ángel, la Reserva Ecológica El Ángel (REEA) y el Bosque de Polylepis. El estudio se desarrolló mediante un diseño no experimental de tipo descriptivo, empleando la técnica sistemática de captura de EMAS mediante trampas de arroz instaladas en ambos ecosistemas. Posteriormente, en el laboratorio se procedió al aislamiento, cultivo e identificación morfológica de hongos, bacterias y levaduras. Se empleó la técnica de diluciones seriadas y siembra en medios de cultivo utilizando medios PDA y agar nutritivo. Para hongos se determinó Unidades formadoras de colonias (Ufc) los resultados evidenciaron concentraciones de 6.3×10^{13} UFC/ml en el bosque polylepis. y 2.6×10^{13} UFC/ml en la REEA, indicando una elevada densidad fúngica morfológicamente, los micelios presentaron crecimiento algodonoso, textura filamentososa, bordes irregulares y pigmentaciones verde, gris y blanquecina. Y para las bacterias. los resultados evidenciaron concentraciones de 4.1×10^{13} UFC/ml para el bosque polylepis y 4.4×10^{13} UFC/ml en la REEA lo que indica una importante densidad bacteriana en el ecosistema evaluado. Morfológicamente, las colonias de bacterias presentaron formas circulares, convexas, bordes enteros y pigmentación blanquecina a crema, características de bacterias heterótrofas del suelo. En la Identificación, los resultados evidenciaron que el REEA y Bosque de Polylepis albergan una alta diversidad microbiana, con presencia de géneros benéficos de Hongos como *Aspergillus sp*, *Penicillium sp*, *Mucor sp*, *Candida sp*, *Saccharomyces sp*, *Metarhizium sp* y de bacterias como *Streptomyces sp* y *Streptococcus sp*; variando en la cantidad de Unidades Formadoras de Colonias (UFC). Se concluye que los ecosistemas altoandinos del Carchi contienen una diversidad significativa de microorganismos eficientes con potencial agrícola y ecológico. Asimismo, los EMAS representan una alternativa viable para mejorar la fertilidad del suelo y promover una agricultura sostenible. Se recomienda profundizar en la identificación a nivel molecular para los microorganismos y evaluar su desempeño en cultivos de importancia económica.

Palabras Claves: microorganismos eficientes, EMAS, biodiversidad microbiana, suelos altoandinos, Bosque de Polylepis, Reserva Ecológica El Ángel, agricultura sostenible.

ABSTRACT

The objective of this research was to identify native efficient soil microorganisms (EMAS) present in two high Andean ecosystems of Carchi province: the El Ángel Ecological Reserve (REEA) and the Polylepis Forest. The study was conducted using a non-experimental descriptive design, applying a systematic EMAS capture technique using rice traps installed in both ecosystems. Subsequently, in the laboratory, isolation, cultivation, and morphological identification of fungi, bacteria, and yeasts were carried out. The serial dilution technique and inoculation in culture media were used, employing PDA and nutrient agar media for the determination of colony-forming units (CFU) for fungi. The results showed concentrations of 6.3×10^{13} CFU/ml in the Polylepis forest and 2.6×10^{13} CFU/ml in the REEA, indicating a high fungal density. Morphologically, the colonies showed cotton-like growth, filamentous texture, irregular edges, and green, gray, and whitish pigmentation. For bacteria, the results showed concentrations of 4.1×10^{13} CFU/ml in the Polylepis forest and 4.4×10^{13} CFU/ml in the REEA, indicating an important bacterial density in the evaluated ecosystem. Morphologically, the colonies showed circular and convex shapes, entire edges, and whitish to cream pigmentation, typical characteristics of heterotrophic soil bacteria. The results showed that the REEA and the Polylepis Forest host a high microbial diversity, with the presence of beneficial genera such as *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Mucor* sp., *Candida* sp., *Saccharomyces* sp., *Metarhizium* sp., and bacteria such as *Streptomyces* sp. and *Streptococcus* sp., varying in the number of colony-forming units (CFU). The commercial samples analyzed showed only two microorganisms (*Saccharomyces* and *Lactobacillus*), which matched the composition indicated on the product. The biological richness of minimally disturbed ecosystems possesses high microbial diversity. It is concluded that the high Andean ecosystems of Carchi contain a significant diversity of efficient microorganisms with agricultural and ecological potential. Likewise, EMAS represent a viable alternative to improve soil fertility and promote sustainable agriculture. Further molecular-level identification of microorganisms and evaluation of their performance in economically important crops are recommended.

Keywords: efficient microorganisms, EMAS, microbial biodiversity, high Andean soils, Polylepis Forest, El Ángel Ecological Reserve, sustainable agriculture.

INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos y la dependencia de insumos químicos en la agricultura han generado la necesidad de buscar alternativas biotecnológicas sostenibles. Los Microorganismos Eficientes Autóctonos (EMAS) representan una de las herramientas más prometedoras, ya que consisten en consorcios de bacterias fototróficas, bacterias productoras de ácido láctico, levaduras y hongos filamentosos que coexisten en equilibrio y promueven la regeneración del suelo.

Los microorganismos eficientes autóctonos (EMAs) son beneficiosos para la agricultura al mejorar la salud del suelo y potenciar el crecimiento de los cultivos de manera ecológica. Estos microorganismos descomponen la materia orgánica, enriqueciendo la estructura del suelo, aumentando la retención de nutrientes y facilitando su asimilación por las plantas. Además, promueven un microbioma equilibrado que reduce la dependencia de agroquímicos y protege los cultivos contra enfermedades, plagas y estrés hídrico. (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015)

Al incorporar EMAs, se estimula la actividad microbiana benéfica, mejorando la aireación y la fertilidad de la tierra. Esto se traduce en un sistema radicular más extenso y saludable, un mayor desarrollo foliar y mayor vigor general, lo que resulta en una producción agrícola más sostenible, limpia y con menor impacto ambiental al incrementar la biodiversidad del suelo.

Los microorganismos eficientes autóctonos del suelo (EMAs) integran comunidades microbianas que son nativas y desempeñan un papel primordial dentro de la ecología de los ecosistemas en el suelo. Los microorganismos como: bacterias, hongos, actinomicetos y levaduras que intervienen en procesos de descomposición la descomposición de la materia orgánica, la fijación biológica del nitrógeno y la solubilización de nutrientes y el mantenimiento de la estructura del suelo, su estudio ha cobrado especial relevancia en escenarios de alta biodiversidad y fragilidad ecológica, donde la conservación de la biota edáfica es indispensable para garantizar la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático y las presiones antrópicas (Baquerizo, 2020)

En la provincia del Carchi, ecosistemas únicos como el Bosque Polylepis y la Reserva Ecológica El Ángel albergan un microbiota nativo adaptada a condiciones extremas de altitud y temperatura. Estos microorganismos poseen capacidades metabólicas particulares para la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes; sin embargo, la diversidad y características específicas de estos consorcios en dichos sectores aún han sido poco documentadas. (Perez, 2018).

Los microorganismos de montaña (MM) son hongos, bacterias y levaduras benéficas recolectados de suelos boscosos no intervenidos, esenciales para la agricultura orgánica por su bajo costo y alta capacidad de mejorar la fertilidad del suelo, descomponer materia orgánica, fijar nitrógeno y controlar patógenos. Se reproducen en estado sólido y líquido mediante fermentación con melaza y salvado.

(Cordova, 2024) Los microorganismos de montaña corresponden a una comunidad diversa de organismos benéficos, entre los que se incluyen hongos, bacterias, micorrizas, levaduras y otros microorganismos funcionales. Estos se localizan de forma natural en suelos de ecosistemas como montañas, bosques, áreas con vegetación de bambú y zonas sombreadas que no han sido expuestas al uso de agroquímicos durante al menos tres años. En estos ambientes, los microorganismos se desarrollan en condiciones naturales, manteniendo el equilibrio ecológico y favoreciendo la salud del suelo.

El Bosque de Polylepis y la Reserva Ecológica El Ángel (REEA), ubicados en el norte del Ecuador, albergan ecosistemas altoandinos únicos a nivel mundial. El Bosque de Polylepis se caracteriza por su flora adaptada a condiciones extremas de temperatura y radiación, lo que ha generado una estructura ecológica especializada y de alta sensibilidad a perturbaciones). (PUCE, 2018). Por su parte, la REEA alberga formaciones de páramo, bofedales y suelos orgánicos con alta capacidad de acumulación de carbono, considerados esenciales para el mantenimiento de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos. (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015).

El presente Trabajo de Integración Curricular se centra en la identificación y caracterización de estos microorganismos. A diferencia de estudios previos que se enfocan directamente en la aplicación agronómica, esta investigación profundiza en la fase de aislamiento y análisis morfológico en laboratorio. El estudio permite establecer una línea base sobre la abundancia microbiana de los suelos de páramo,

proporcionando información científica esencial para entender la dinámica biológica de estos ecosistemas protegidos.

La metodología empleada consistió en la captura de microorganismos in situ mediante el uso de trampas de arroz, seguida de su aislamiento en medios de cultivo específicos y la posterior identificación taxonómica mediante claves morfológicas. Con este trabajo, se busca revalorizar el recurso biológico local, demostrando la riqueza microbiológica que poseen los suelos de la zona norte del Ecuador (Higa, 2021).

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, la degradación de los suelos debido al uso intensivo de agroquímicos ha generado una crisis en la sostenibilidad de los sistemas productivos. Como respuesta, el uso de Microorganismos Eficientes (EM) ha surgido como una alternativa biotecnológica para restaurar la salud edáfica. Sin embargo, la mayoría de los productos comerciales utilizan cepas introducidas que no siempre se adaptan a las condiciones climáticas extremas de las zonas altoandinas, lo que reduce su efectividad y pone en riesgo el equilibrio ecológico local.

La degradación de los suelos representa una de las principales amenazas para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. La pérdida de calidad del suelo limita la producción agrícola, afecta los ciclos del agua y del carbono, y reduce la biodiversidad, especialmente de microorganismos benéficos. Además, este problema contribuye al cambio climático al disminuir la capacidad del suelo para almacenar carbono. Por ello, es fundamental implementar prácticas de manejo sostenible, como la agricultura orgánica, el uso de abonos naturales y la conservación de la cobertura vegetal, con el fin de recuperar y proteger este recurso esencial.

La degradación es un proceso de deterioro progresivo que afecta sus propiedades físicas, químicas y biológicas, reduciendo su capacidad para sostener la vida vegetal y mantener su productividad. Este fenómeno puede ser causado por factores naturales, como la erosión hídrica y eólica, así como por actividades humanas, entre ellas la deforestación, el sobrepastoreo, el uso inadecuado de la tierra y la aplicación excesiva de agroquímicos. Como resultado, el suelo pierde nutrientes esenciales, materia orgánica y estructura, volviéndose menos fértil y más vulnerable a procesos de desertificación.

El uso excesivo de abonos inorgánicos en Ecuador representa un problema ambiental y productivo significativo, ya que a corto plazo incrementa el rendimiento de los cultivos, pero a largo plazo deteriora la calidad del suelo. Estos fertilizantes alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reduciendo su fertilidad natural,

disminuyendo la materia orgánica y afectando la actividad de microorganismos benéficos esenciales para el equilibrio del ecosistema agrícola, generan impactos negativos en el ambiente, como la contaminación de fuentes de agua por lixiviación de nutrientes (principalmente nitratos y fosfatos) y la degradación de los ecosistemas. En el contexto ecuatoriano, especialmente en zonas agrícolas intensivas, esta problemática también afecta la sostenibilidad de la producción y la salud humana, lo que resalta la necesidad de promover alternativas más sostenibles como el uso de abonos orgánicos y microorganismos eficientes. (Sensacultivos, 2023)

El uso intensivo e inadecuado de fertilizantes, pesticidas y plaguicidas de síntesis química ha generado efectos adversos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, impactando negativamente el equilibrio ambiental. Estas prácticas han contribuido al deterioro de la calidad del suelo y han originado problemáticas asociadas a la inocuidad y seguridad alimentaria, así como riesgos potenciales para la salud humana y animal.

En los últimos años, la expansión agrícola, el sobrepastoreo, los incendios forestales y la degradación del suelo han incrementado su impacto sobre estos ecosistemas (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015). Estas presiones antrópicas afectan no solo la vegetación y estructura física del suelo, sino también la comunidad microbiana que sustenta los procesos de resiliencia ecológica. La falta de información sobre los microorganismos eficientes autóctonos (EMAs) limita la capacidad de diseñar estrategias de manejo que integren la biología del suelo como un componente clave en la recuperación de áreas degradadas y en el mantenimiento de la funcionalidad ecológica natural (Montaño, 2021)

El desconocimiento de las especies de microorganismos eficientes que habitan en estas áreas protegidas limita el desarrollo de biotecnología local adaptada. Actualmente, no se cuenta con una caracterización morfológica detallada que permita identificar los géneros predominantes en estos sitios, lo que impide su posterior aprovechamiento en procesos de restauración ambiental o agricultura orgánica soberana. Por tanto, es imperativo realizar un estudio que aísle, identifique y cuantifique estos recursos biológicos para entender su potencial y asegurar su conservación (Gonzales, 2019).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las características morfológicas y la densidad poblacional de los microorganismos eficientes autóctonos (EMAS) presentes en los suelos del Bosque Polylepis y la Reserva Ecológica El Ángel?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica por la necesidad de documentar y valorar la biodiversidad microbiológica presente en ecosistemas estratégicos de la provincia del Carchi, específicamente en el Bosque Polylepis y la Reserva Ecológica El Ángel. Estos entornos, caracterizados por condiciones climáticas extremas y suelos de páramo, funcionan como reservorios naturales de microorganismos con capacidades metabólicas únicas que no han sido totalmente catalogadas.

Desde el punto de vista científico, el estudio de los Microorganismos Eficientes Autóctonos (EMAS) es fundamental para comprender los procesos de resiliencia del suelo. La identificación morfológica y la cuantificación de estas poblaciones permiten establecer una línea base de conocimiento biotecnológico. Esto es indispensable para futuras investigaciones que busquen desarrollar bioinsumos adaptados a las condiciones altoandinas, garantizando que las intervenciones agronómicas futuras se basen en el microbiota nativo y no en cepas introducidas que podrían alterar el equilibrio ecológico local.

En el ámbito ambiental, esta investigación contribuye a la conservación de los recursos genéticos del suelo. Al aislar y caracterizar estos consorcios, se pone de manifiesto la riqueza biológica de las áreas protegidas, promoviendo prácticas de manejo de suelo que sustituyan el uso de fertilizantes sintéticos por alternativas de origen natural. Esto reduce el impacto ambiental negativo y favorece la sostenibilidad de los agroecosistemas en la zona norte del Ecuador.

En el Ecuador, y específicamente en la provincia del Carchi, los ecosistemas de páramo como el bosque polylepis y la reserva ecológica El Ángel poseen características edafoclimáticas únicas. Se presume que estos suelos albergan consorcios de microorganismos autóctonos (bacterias, hongos y levaduras) con una alta capacidad de adaptación y eficiencia metabólica. No obstante, a pesar de su importancia ecológica, existe un vacío de información científica respecto a la composición específica y la densidad poblacional de este microbiota nativo.

La agricultura orgánica presentan algunas ventajas ambientales y económicas, los agricultores al emplear sistemas tradicionales con productos de síntesis química, cada vez serán menos sostenibles, de esta manera, la agricultura orgánica se presenta como una opción interesante, en la que es fundamental una adecuada fertilidad del suelo, para lograr una producción de mejor calidad; por lo tanto, para mejorar la fertilidad del suelo podemos emplear los microorganismos eficientes, los mismos que son un cultivo microbiano mixto, de especies de microorganismos benéficos, que aplicados al suelo restablece el equilibrio microbiológico, y mejora sus condiciones físico-químicas, e incrementa la producción de los cultivos y su protección (Gonzales, 2019). Los microorganismos eficientes ayudarán a acelerar la descomposición de los desechos orgánicos presentes en el suelo, lo que se va a ayudar en una mayor elaboración de nutrientes para los cultivos y, por ende, en un incremento de su productividad, que genera una agricultura sostenible. (Enrique R. T., 2013)

La alternativa de los EMAS permitirá la recuperación de nutrientes de los suelos e incentivará una nueva alternativa sostenible para producir alimentos libres de químicos y sin perjudicar al medio ambiente. Los EMAS nos ayudarán a mejorar el equilibrio microbiológico, lo que contribuirá a incrementar la producción de sus cultivos. Los microorganismos eficientes nos ayudan a acelerar la descomposición de los desechos orgánicos que se encuentran presentes en el suelo, aumentando la disponibilidad de nutrientes que la mezcla forrajera pueda absorber, presentando un incremento en su productividad.

La agricultura sostenible busca mantener la productividad a largo plazo de los sistemas agropecuarios, garantizando la conservación de los recursos naturales, la viabilidad económica y el equilibrio ecológico. El suelo constituye un componente fundamental, ya que su calidad biológica determina en gran medida la eficiencia en el uso de nutrientes, la productividad de los cultivos y la resiliencia frente a factores ambientales adversos.

Finalmente, para el autor y la institución, este trabajo representa un aporte al fortalecimiento de las líneas de investigación en biotecnología agropecuaria de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi. El proyecto permite aplicar técnicas de laboratorio avanzadas para el aislamiento de hongos, levaduras y bacterias, consolidando un precedente metodológico para el estudio del microbiota de altura.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Identificar microorganismos eficientes autóctonos del suelo EMAS en el Bosque Polylepis y en la Reserva Ecológica EL Ángel.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Aislar los microorganismos de las muestras de suelo obtenidas en la captura en el Bosque Polylepis y en la Reserva Ecológica El Ángel.
- Caracterizar morfológicamente los consorcios microbianos obtenidos, utilizando claves morfológicas para la identificación de géneros de hongos y bacterias.
- Cuantificar la densidad poblacional de los microorganismos aislados mediante el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC)

1.4.3. Preguntas de Investigación

¿Qué géneros de microorganismos componen el microbiota de los suelos del Bosque Polylepis y la Reserva Ecológica El Ángel?

¿Cuáles son las características morfológicas predominantes de los EMAS capturados?

¿Cuál es la concentración de microorganismos (UFC/ml o g) presentes en los inóculos microbianos?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A nivel internacional (Pineda, 2020) en su estudio realizado en Colombia sobre la caracterización de microorganismos eficientes en suelos altoandinos, destacan que el microbiota nativo de los páramos presenta una mayor capacidad de solubilización de fósforo y fijación de nitrógeno en comparación con cepas comerciales. En su investigación, lograron aislar géneros como *Bacillus* sp. y *Saccharomyces* sp. mediante el uso de trampas de arroz, concluyendo que la adaptación climática de estos microorganismos es el factor determinante para su supervivencia en condiciones de baja temperatura.

Por otro lado, (Martinez, 2021) en una investigación en los Andes peruanos, evaluó la densidad poblacional de microorganismos en ecosistemas de altura. Los autores identificaron que los suelos con alta presencia de materia orgánica y vegetación nativa (similares al Bosque Polylepis) presentan una carga microbiana superior a 1×10^6 UFC/g, predominando los hongos filamentosos en las capas superficiales debido a su rol en la descomposición de la lignina y celulosa.

(Toapanta, 2019) Asimismo, investigó el potencial biotecnológico de los consorcios microbianos en el norte del Ecuador. El autor enfatiza que, aunque se conoce la existencia de estos microorganismos, la falta de una caracterización morfológica detallada en áreas protegidas limita su uso. En su trabajo, logró estandarizar procesos de aislamiento en laboratorio que permiten diferenciar grupos funcionales mediante la observación de bordes, elevación y color de las colonias en medios de cultivo sólidos.

A nivel local, la Universidad Politécnica Estatal del Carchi ha promovido estudios preliminares sobre los recursos naturales de la provincia. Investigaciones previas sugieren que el Bosque Polylepis posee una de las capas de mantillo más ricas en biología del norte del país. Sin embargo, los registros específicos sobre la identificación taxonómica de los EMAS en la Reserva Ecológica El Ángel son escasos, lo que

posiciona la presente investigación como un aporte pionero al catálogo de biodiversidad microbiana de la zona norte del Ecuador (Upec, 2023) .

El trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, en la Facultad de Agronomía, en el Proyecto Vacunos, en el Fundo de Zungarococha, titulado "dosis de microorganismos eficaces (EM-1) y su efecto sobre las características agronómicas y el rendimiento de la amasisa sin espina (*Erythrina* sp.), como forraje del ganado en Zungarococha". Las evaluaciones fueron realizadas a la doceava semana después de la siembra vegetativa de las estacas, en parcelas de 3 m x 1.2 m (3.6 m²) y un área experimental de 170 m². Con un diseño de Diseño de bloque Completo al Azar (D.B.C.A), con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, los tratamientos en estudio fueron: T0 (0 % solución EM-1), T1 (2.5 % solución EM-1 10), T2 (5.0 % solución EM-1), T3 (7.5 % solución EM-1) y T4 (10 % solución EM-1), obteniendo los siguientes resultados: Concluyendo, las dosis de Microorganismos Eficaces (EM) influyeron positivamente sobre las características agronómicas del forraje Amasisa (*Erythrina* sp) (Rodriguez Meza, 2018).

En la ciudad de Tulcán, en la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, se realizó una investigación sobre la captura de microorganismos eficientes autóctonos (EMAs), la cual evidencia que tanto el Bosque de Arrayanes como el Páramo de Frailejones albergan comunidades microbianas activas, cuya capacidad de colonización refleja las condiciones ambientales particulares de cada ecosistema. La variabilidad en la intensidad y tipo de crecimiento microbiano indica que factores como la temperatura, la disponibilidad de materia orgánica y la humedad del suelo influyen directamente en la estructura y diversidad de las poblaciones microbianas (Pozo A. , 2018). En el Bosque de Arrayanes, la mayor presencia de micelio, pigmentaciones blancas y olor ácido sugiere la dominancia de hongos saprófitos y bacterias ácido-lácticas, microorganismos característicos de suelos ricos en hojarasca y procesos avanzados de descomposición orgánica. Estudios previos han demostrado que los bosques con alta cobertura vegetal tienden a presentar una mayor diversidad microbiana y una actividad fermentativa más pronunciada debido a la abundancia de sustratos disponibles. Esto explica la colonización más intensa observada y el alto porcentaje de recuperación del material capturado. En contraste, el Páramo de Frailejones mostró una colonización más lenta y menos densa, coherente con lo descrito para ecosistemas altoandinos donde predominan temperaturas bajas, alta humedad y suelos pobres en nutrientes. Finalmente, la mezcla compuesta de todas

las trampas permitió obtener un consorcio diverso y representativo, reforzando el potencial funcional de los EMAs. Las características organolépticas observadas olor fermentado, micelio blanco y textura compacta son indicadores ampliamente reconocidos de un cultivo exitoso de microorganismos benéficos, esto demuestra que la metodología aplicada fue efectiva y adecuada para la recolección de microbiota nativa en ambos ecosistemas (Pozo A. , 2018)

La presente investigación tuvo como objetivo aislar, identificar y caracterizar microorganismos presentes en suelos de la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas, en la provincia de Imbabura, Ecuador, con énfasis en su morfología colonial y su potencial como microorganismos eficientes (EM).

Se recolectaron muestras de suelo en áreas representativas de la reserva, asegurando condiciones estériles para preservar la viabilidad microbiana. El aislamiento se realizó mediante siembra por estría en medios nutritivos específicos para bacterias y hongos (Agar Nutriente y PDA). La identificación de los microorganismos se basó en la combinación de morfología colonial, observación microscópica y pruebas bioquímicas. La morfología colonial incluyó la evaluación de:
Forma: circular, filamentosa o irregular. Bordes: enteros, ondulados o lobulados
Superficie: lisa, rugosa o granulosa, Coloración: blanca, crema, amarilla o verde (en hongos), Elevación: plana, convexa o umbonada

La cuantificación microbiológica mediante Unidades Formadoras de Colonias (UFC/g de suelo) evidenció densidades comprendidas entre bacterias heterótrofas y para hongos filamentosos, indicando su alta actividad biológica.

La caracterización funcional demostró que los EM aislados contribuyen a la solubilización de fósforo, fijación biológica de nitrógeno y degradación de materia orgánica, procesos esenciales para la fertilidad y salud del suelo en ecosistemas forestales. Se observó una diversidad microbiana significativa, destacando bacterias del género *Bacillus* y *Pseudomonas* y hongos filamentosos como *Penicillium* y *Aspergillus*.

Se concluye que la combinación de morfología colonial, análisis microscópico y pruebas bioquímicas constituye un método confiable para identificar microorganismos eficientes, y que la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas es un reservorio natural de microorganismos con alto potencial biofertilizante y ecológico.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1 Microorganismos Eficientes (EM)

Los microorganismos eficientes, como inoculante microbiano, restablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejoran sus condiciones físico-químicas, incrementan la producción de los cultivos y su protección, además, conservan los recursos naturales, generan una agricultura y un medio ambiente más sostenibles. Pueden ser utilizados en la rama pecuaria (porcicultura, ganadería y avicultura) para la cría de animales, el incremento de las variables productivas. Todo ello maximiza la eficiencia de los sistemas y el manejo de excretas e instalaciones. (Feijoo, 2016).

En la microbiología del suelo, suprime o controla las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en el suelo por competencia. Incrementa la biodiversidad microbiana, generando las condiciones necesarias para que los microorganismos benéficos nativos prosperen. (Enrique., 2013).

Se trata de una mezcla de cultivos mixtos de especies microbianas benéficas y fisiológicamente compatibles, principalmente aeróbicas y anaeróbicas, que viven en armonía.

Creados por el profesor Teruo Higa en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón. Tras años de investigación sobre microorganismos benéficos, Higa completó su estudio en 1982 al observar que una mezcla de microorganismos, tradicionalmente considerados por separado, funcionaba de forma sinérgica al aplicarse al suelo.

2.2.2 Microorganismos Eficientes Autóctonos (EMAS)

Los microorganismos eficientes son seres unicelulares; estos tienen una gran utilidad en la agricultura, ya que aportan biodiversidad al suelo, ayudan a la descomposición de materia orgánica y son eficientes para el control biológico de patógenos. (Velasco, 2021).

Los microorganismos son biodegradadores que contienen varios agentes microbiológicos que aumentan el rendimiento y la producción agrícola, generando beneficios como una mayor germinación, floración y fructificación de los cultivos, y así reducen daños fisiológicos a las plantas y al suelo. El concepto de microorganismos eficientes (EMAs) fue propuesto y desarrollado por el profesor Teruo Higa, quien planteó el uso de consorcios microbianos benéficos obtenidos de ambientes naturales. Estos se aplican como inoculantes con el propósito de

enriquecer la diversidad biológica del suelo y favorecer la salud de las plantas. Diversos estudios han evidenciado que su incorporación al suelo contribuye a mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que se traduce en un mejor desarrollo vegetal, mayor productividad y mejor calidad de los cultivos.

2.2.3 Diferencia entre EM comercial y EMAS

El EM Comercial (EM-1) es un producto adquirido comercialmente, generalmente de origen japonés, que contiene microorganismos beneficiosos en estado latente y requiere un proceso de activación previo a su uso; se caracteriza por su calidad y efectividad comprobada, aunque su costo es elevado.

Los EMAs (Microorganismos Eficientes Autóctonos/Activados) son obtenidos de suelos forestales locales y multiplicados mediante fermentación con melaza, agua y arroz, lo que les permite adaptarse mejor a las condiciones del entorno, además de representar una alternativa más económica y accesible.

La selección de cepas nativas es superior en términos de adaptación climática porque estos microorganismos han evolucionado bajo las condiciones específicas del entorno (temperatura, humedad, pH, radiación y disponibilidad de nutrientes), lo que les permite sobrevivir, competir y funcionar eficientemente sin requerir ajustes externos; en contraste, las cepas introducidas pueden presentar menor tolerancia al estrés ambiental, menor actividad metabólica y menor persistencia en el suelo.

Proceso de Captura y Activación: Fundamentos del uso de sustratos (arroz) para la captura in situ.

Dinámica Poblacional: Factores que influyen en la densidad de colonias

2.2.4. Ecología de los Suelos Altoandinos

Reserva Ecológica El Ángel: Características edafoclimáticas, suelos de tipo Andosol y su capacidad de retención de humedad y vida biológica.

Bosque de Polylepis: Importancia del género *Polylepis* en la formación de nichos ecológicos microbianos específicos.

Microbiota de Altura: Adaptaciones de los microorganismos a condiciones de hipoxia (bajo oxígeno) y bajas temperaturas.

2.2.5 Identificación y caracterización Microbiana

2.2.5.1 Morfología Colonial

La morfología colonial describe las características visibles de las colonias microbianas cuando crecen en medios de cultivo sólidos (como agar). Es clave en microbiología porque permite una identificación preliminar sin necesidad de microscopio.

2.2.5.2 Forma

Es la característica macroscópica para una primera identificación taxonómica rápida, es la configuración general de la colonia vista desde arriba.

2.2.5.3 Elevación

Describe cómo esta sobresale por encima de la superficie del medio de cultivo en una placa de Petri. Se evalúa observando la caja de cultivo de perfil o ladeándola. Es un parámetro clave para la identificación bacteriana.

2.2.5.4. Borde (orla)

Es el contorno que limita la colonia bacteriana o fúngica, contorno externo de la colonia.

2.2.5.5 Color

Es el pigmento observado en la superficie y/o el reverso de la colonia; puede cambiar con la edad o el medio.

2.2.5.6 Superficie

Es la textura y el aspecto de la zona superior de la colonia. (Mahdieh, 2018).

2.2.6 Morfología Microscópica

La morfología microscópica se refiere al estudio de las características estructurales de los microorganismos que solo pueden observarse con el microscopio. Es fundamental en microbiología porque permite identificar, clasificar y diferenciar bacterias, hongos y levaduras.

2.2.7 Bacterias

2.2.7.1 Forma

Cocos (esféricos), bacilos (alargados), espirilos (en espiral).

2.2.7.2 Agrupación

diplococos, estreptococos (cadenas), estafilococos (racimos).

2.2.7.4 Estructuras

Flagelos, cápsulas, endosporas.

2.2.8 Hongos (filamentosos)

2.2.8.1 Hifas

Son filamentos microscópicos tubulares que forman la estructura de la mayoría de los hongos, forman una red llamada micelio que constituye la parte viva y oculta del organismo.

2.2.8.2 Micelio

Es una red subterránea y vegetativa de hongos, formada por millones de filamentos microscópicos, llamados hifas, que forman un conjunto de hifas.

2.2.8.3 Esporas

Son células microscópicas especializadas producidas por hongos, plantas (como helechos y musgos) y ciertas bacterias. Su función principal es asegurar la supervivencia y propagación de la especie. (Nepita, 2020).

2.2.9 Unidades Formadoras de Colonias (UFC): Fundamento del conteo poblacional y diluciones seriadas.

Las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) son una medida utilizada en microbiología para cuantificar la concentración de microorganismos viables (bacterias o hongos) en una muestra líquida o sólida. Se fundamenta en la capacidad de una célula microbiana viable (o un grupo de ellas) de dividirse y formar una colonia visible sobre un medio de cultivo sólido bajo condiciones controladas.

Aquí se detallan los principios del conteo poblacional y la técnica de diluciones seriadas:

2.2.9.1 Recuento en placa

Las muestras se siembran en placas de Petri (por vertido o extensión) y, tras la incubación, se cuentan las colonias. Para garantizar la fiabilidad estadística, se seleccionan placas con un número manejable de colonias, generalmente entre 30 y 300.

Las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) representan el número de microorganismos viables en una muestra. La fórmula general para calcular la concentración microbiana en una muestra original (generalmente expresada en

Número de colonias contadas en la placa Petri.

Factor de Dilución (el inverso de la dilución,

Volumen de la muestra sembrada en la placa (usualmente en ml). (Uysal, 2016).

$$\text{UFC/ML} = \text{N} \times \text{FD/V}$$

2.2.10 Tipos de microorganismos del suelo

Los microorganismos del suelo son fundamentales para la vida en la Tierra. Desempeñan un papel crucial en los ecosistemas terrestres, ya que contribuyen al reciclaje de nutrientes, la formación del suelo y el mantenimiento de la fertilidad.

Los microorganismos del suelo son seres vivos microscópicos que habitan en la capa superficial de la Tierra. Incluyen bacterias, hongos, algas, protozoos y virus, entre otros. Estos organismos interactúan con las plantas, los animales y el medio ambiente, desempeñando funciones esenciales como:

Descomposición de materia orgánica. Transforman restos de plantas y animales en nutrientes que las plantas pueden absorber.

2.2.10.1 Fijación de nitrógeno.

Algunas bacterias convierten el nitrógeno atmosférico en formas utilizables para las plantas.

2.2.10.2 Control biológico de plagas.

Algunos microorganismos ayudan a combatir patógenos y plagas que afectan a los cultivos.

2.2.10.3 Formación de agregados del suelo.

Contribuyen a la estructura del suelo, mejorando su capacidad para retener agua y aire.

Son los microorganismos más abundantes en el suelo. Realizan funciones clave como la fijación de nitrógeno, la descomposición de materia orgánica y la producción de sustancias que promueven el crecimiento de las plantas. También participan en procesos como la nitrificación o la desnitrificación, que regulan los niveles de nitrógeno en el suelo.

2.2.10.4 Hongos

Los hongos del suelo, como los micorrízicos, forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, mientras que las plantas reciben nutrientes como fósforo y agua. Además, los hongos descomponen materia orgánica compleja, liberando nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal.

2.2.10.5 Algas

Aunque menos comunes, las algas también están presentes en el suelo, especialmente en superficies expuestas a la luz solar. Contribuyen a la formación del suelo al producir materia orgánica a través de la fotosíntesis. Además, algunas pueden fijar nitrógeno, mejorando la fertilidad del suelo.

2.2.10.6 Protozoos

Son microorganismos unicelulares que se alimentan de bacterias, regulando sus poblaciones y liberando nutrientes en el proceso. También ayudan a mantener el equilibrio microbiológico del suelo y participan en la mineralización de nutrientes.

2.2.10.7 Virus

Aunque a menudo se asocian con enfermedades, los virus del suelo también desempeñan un papel ecológico importante. Infectan bacterias y otros microorganismos, influyendo en la dinámica de las comunidades microbianas y el ciclo de nutrientes.

2.2.11 Tipos de microorganismos eficientes autóctonos del suelo Emas

Son una combinación de microorganismos beneficiosos de cuatro géneros principales: bacterias fototróficas, bacterias ácido lácticas, levaduras y actinomicetos.

2.2.11.1 Bacterias Fototróficas

Son bacterias autótrofas que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo tanto, los metabolitos son absorbidos directamente por ellas, y actúan como sustrato para incrementar la población de otros microorganismos eficientes. (Herranz, 2021)

2.2.11.2 Bacterias Ácido Lácticas

El ácido láctico es un fuerte esterilizador, suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica, estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. Las bacterias ácido lácticas aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa.

2.2.11.3 Levaduras

Estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división celular activa. Sus secreciones son sustratos útiles para microorganismos eficientes como bacterias ácido lácticas y actinomiceto. (Biosca, 2001).

2.2.11.4 Actinomicetos

Funcionan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos (efectos biostáticos y biocidas). Benefician el crecimiento y actividad del azotobacter y de las micorrizas. (Enrique., 2013)

2.2.12 Tipos de microorganismos eficientes autóctonos del suelo Emas capturados e identificados en el bosque.

2.2.12.1 Candida sp.

Es una especie de levadura, denominada con el nombre común de tórula. Crece especialmente en sustratos ricos en celulosa y xilosa.

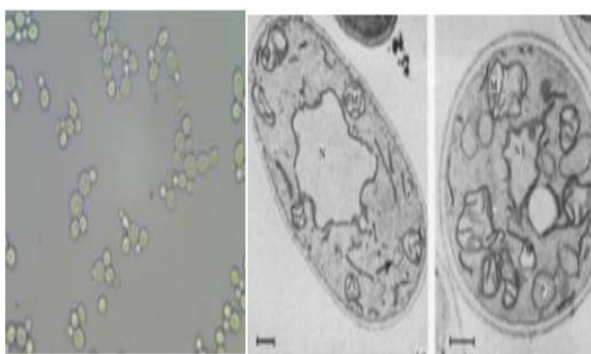


Figura 1. Características macro y microcópicas de *Candida* sp. (levadura)

2.2.12.2 *Saccharomyces* sp

Es una levadura unicelular que tiene forma redondeada, con un núcleo diferenciado. Tiene un color varía según el medio de cultivo, pudiendo ser blanco, crema, verde transparente o azul intenso. Se reproduce asexualmente por gemación, que es una forma asimétrica en la que una célula origina una protuberancia que se convierte en otra célula. En condiciones óptimas, este proceso dura unas dos horas.

Es una levadura sacárida que se alimenta de azúcares simples y los fermenta en etanol y dióxido de carbono.

En las plantas aumentar la resistencia a sustancias tóxicas pueden ayudar a las plantas a crecer en suelos contaminados. Mejorar el suelo sódico la levadura puede ser un bioestimulante y enmienda mejoradora del suelo, con efectos rápidos y óptimos. Ayuda a estimular el crecimiento de las plantas Las levaduras del suelo pueden estimular el crecimiento, nutrición y rendimiento de algunas plantas. (Valenzuela, 2022).



Figura 2. Características macro y microscópicas de *Saccharomyces* sp.

2.2.12.3 *Streptomyces* sp.

Es una especie de bacteria del género *Streptomyces* que principalmente se encuentra en el suelo, es un bacilo grampositivo con morfología filamentos forma filamentos ramificados y esporas, y son responsables de su característico olor a “tierra húmeda”, debido a la producción de geosmina. Aportan fuentes de compuestos bioactivos (antibacterianos, inmunosupresores, antifúngicos y antivirales). (IVAMI, 2020).



Figura 3. Características macro y microscópicas de *Streptomyces* sp

2.2.12.4 *Mucor* sp

Es un género de hongos de la familia *Mucoraceae*, orden *Mucorales*, que forman mohos con delicados filamentos tubulares blancos y esporangios negros esféricos. Las colonias de este género fúngico suelen ser de color blanco a beige o gris y de rápido crecimiento. Las colonias más viejas se vuelven de color gris a marrón debido al desarrollo de esporas.

Aportan beneficios en las plantas como endófitas, el micelio de hongos cultivados in vitro puede liberar moléculas solubles que promueven el crecimiento vegetal. Las moléculas solubles liberadas por el micelio de hongos cultivados in vitro pueden inducir en la planta resistencia contra daños físicos y patógenos. Forma mohos con delicados filamentos tubulares blancos y esporangios negros esféricos.

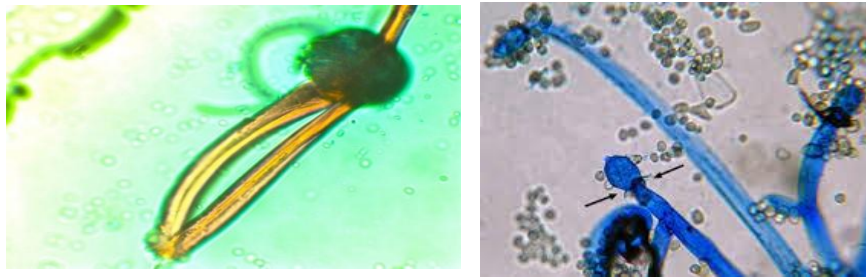


Figura 4. Características microscópicas de *Murcor sp*

2.2.13 Consorcio microbiano

Los consorcios microbianos son asociaciones simbióticas de diversas especies de microorganismos (bacterias, hongos, levaduras) que interactúan funcionalmente, superando la efectividad de los microbes individuales. Actúan en equipo para potenciar la salud del suelo, ayuda a la movilización de nutrientes para el crecimiento y desarrollo de plantas, degradar contaminantes y aumentar la resiliencia agrícola mediante la fijación de nitrógeno y control biológico. Los microbes presentes en el suelo impulsan procesos multifuncionales, la comunidad microbiana forma una red interconectada compleja y la interacción entre los microorganismos. La asociación de grupos microbianos en un consorcio promueve la renovación de la materia orgánica del suelo (Tordin, 2024).

En el suelo los consorcios microbianos sobreviven en una interacción cercana con el dosel de la raíz de la planta como un endófito y también como miembros de un microbiota complejo, en lugar de la existencia individualista como células individuales, los consorcios microbianos responden al estrés ambiental circundante como un organismo único. Debido a su interacción interna beneficiosa, los consorcios microbianos tienen más probabilidad de adoptar y apoyar a la planta en comparación con cualquier cepa individual (Giovannetti, 2015).

Los consorcios microbianos solubilizan nutrientes mediante la acción sinérgica de bacterias y hongos que descomponen materia orgánica y minerales en la rizosfera, aumentando la biodisponibilidad de fósforo, potasio y nitrógeno. Actúan liberando ácidos orgánicos, enzimas y sideróforos que liberan nutrientes inmovilizados, mejorando la estructura del suelo y promoviendo el crecimiento vegetal dentro de los mecanismos de acción. El consorcio incrementa la actividad enzimática y la liberación de exudados radiculares, que aceleran el ciclo de nutrientes y aumentan el contenido de carbono en el suelo. La utilización de consorcios en lugar de inóculos

simples permite una mayor resiliencia y efectividad en la nutrición de los cultivos debido a la especialización funcional de los microorganismos que lo componen.

2.2.14 Aplicación de microorganismos eficientes en la agricultura

La agricultura ecológica, denominada también biológica u orgánica, se concibe como un modelo alternativo de producción que busca generar alimentos con alto valor nutritivo, garantizando la protección del ambiente y el mantenimiento de la fertilidad del suelo. Este enfoque prioriza el aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles en la localidad y excluye el uso de insumos de origen químico-sintético.

Para alcanzar estos objetivos, no solo se requiere un cambio de perspectiva en cuanto a los sistemas de producción, sino también la implementación de prácticas agrícolas innovadoras y sostenibles. En este contexto, los microorganismos eficientes (EMs) desempeñan un papel relevante al contribuir a mejorar la dinámica biológica del suelo. Asimismo, este tipo de agricultura se fundamenta en principios generales orientados a la sostenibilidad, el equilibrio ecológico y la conservación de los recursos naturales (Enrique, 2013).

2.2.15 Agar PDA

El PDA (agar patata dextrosa) es un medio de cultivo microbiológico, hecho de infusión de patata y dextrosa, usado para el crecimiento exuberante de hongos y levaduras.

Para la preparación del agar papa dextrosa (PDA), pesamos 39 g de polvo comercial en 1 L de agua destilada, calentamos hasta ebullición, esterilizamos en autoclave a 121 °C durante 15 minutos y vertemos en placas Petri. Es ideal para el cultivo de hongos y levaduras, pudiendo acidificarse con ácido tartárico al 10% para mayor selectividad.

Dejar enfriar a 45-50 °C antes de verter en placas Petri para evitar condensación excesiva.

2.2.16 Melaza

Es la clave en el metabolismo y la activación de los microorganismos, especialmente cuando se utiliza en la preparación y multiplicación de microorganismos eficientes (EMAS).

La melaza es una fuente natural de carbono fácilmente disponible, compuesta principalmente por azúcares simples (sacarosa, glucosa y fructosa), además de pequeñas cantidades de minerales. La función es estimular la actividad metabólica y la reproducción de los microorganismos benéficos.

Es una fuente de energía ya que los microorganismos utilizan los azúcares de la melaza como sustrato energético.

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

El enfoque de la presente investigación es mixto (cualitativo y cuantitativo), con un predominio del alcance descriptivo.

Cualitativo: Se aplica al momento de realizar la caracterización morfológica de los microorganismos. En esta fase se observan, describen y categorizan cualidades visuales de las colonias (color, forma, textura, borde) y estructuras microscópicas (presencia de hifas, levaduras, etc.), sin que estas sean medidas numéricamente en primera instancia, sino comparadas con claves taxonómicas.

Cuantitativo: Se manifiesta en la cuantificación de la densidad poblacional. Aquí se recolectan datos numéricos a través del conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC/g o ml). Se utiliza la estadística descriptiva para determinar promedios y desviaciones de las poblaciones halladas en el Bosque Polylepis frente a la Reserva El Ángel.

3.1.2. Tipo de Investigación

De acuerdo con el nivel de profundidad y el objetivo del estudio, la investigación es de tipo:

Descriptiva:

Ya que el propósito es reseñar las características y rasgos importantes de los microorganismos eficientes autóctonos de los sitios de estudio, sin manipular ninguna variable (no hay aplicación de tratamientos en campo).

Campo:

Debido a que la recolección de los datos (captura de microorganismos) se realiza directamente en su entorno natural: el Bosque Polylepis y la Reserva Ecológica El Ángel.

Laboratorio:

El procesamiento, aislamiento y purificación de las muestras requiere de un ambiente controlado con protocolos microbiológicos específicos.

3.2. HIPÓTESIS

Hipótesis alternativa (Ha): Existen diferencias estadísticamente significativas en la densidad poblacional de microorganismos eficientes autóctonos (UFC/g) entre los suelos del Bosque Polylepis y la Reserva Ecológica El Ángel, debido a las variaciones en las condiciones edafoclimáticas de cada ecosistema.

Hipótesis nula (Ho): No existen diferencias estadísticamente significativas en la densidad poblacional de microorganismos eficientes autóctonos (UFC/g) entre los suelos del Bosque Polylepis y la Reserva Ecológica El Ángel.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 1. Operacionalización de las variables

Tipo de variable	Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Independiente	Origen del inóculo sitio	Lugar geográfico y ecosistema donde se realiza la captura de los microorganismos	Ecosistema	Reserva ecológica El Ángel Bosque Polylepis	Ficha de observación del campo/ GPS
Dependiente	Morfología colonial	Características visuales de las colonias de los microorganismos cultivados en medio sólido	Fenotipo	Color Forma Borde Elevación	Guía de observación/Claves taxonómicas
	Morfología microscópica	Estructuras celulares observadas mediante microscopio óptico para identificar géneros	Estructura celular	Tipos de hifas (Hongos Forma celular (levaduras bacterias)	Microscopio óptico/ cámara digital
	Carga microbiana	Concentración o densidad poblacional de los microorganismos presentes en las muestras	Densidad	Unidades formadoras de colonias (Ufc)/ g o ml	Conteo de placas/Diluciones seriadas

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1 Método Inductivo:

Se utilizará para obtener conclusiones generales sobre el microbiota de la zona a partir de la observación de casos particulares (muestras específicas).

3.4.2 Método Analítico

Para desglosar los consorcios microbianos en sus componentes individuales (bacterias, hongos, levaduras) y estudiarlos por separado.

Técnicas de Laboratorio:

3.4.3 Captura

Uso de trampas de arroz (sustrato sólido) en los puntos de muestreo.

3.4.4 Aislamiento

Método de siembra por agotamiento en placa para obtener cultivos puros.

3.4.5 Localización del experimento

La presente investigación se realizó en dos lugares de la provincia del Carchi en la Reserva Ecológica El Ángel y en el bosque polylepis en el Cantón Espejo ciudad de El Ángel a una altura de 3400 hasta los 4200 m.s.n.m. donde se delimitó una zona de 1 kilómetro a la redonda para en ese lugar capturar los microorganismos.

Para realizar la identificación de los microorganismos mediante claves morfológicas se ocupó el laboratorio de microbiología de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

Para la aplicación de los microorganismos en campo se aplicó en pasturas establecidas en la finca la Victoria en el cantón Espejo Ciudad El Ángel. Está a una altura de 3050 m.s.n.m. a una temperatura de 18 °C con precipitaciones de 2000 a 3000 mm.

3.4.6 Técnica para la captura de microorganismos

Para la captura de microorganismos se usó la técnica al azar aleatoria debido a que los microorganismos se encuentran de manera dispersa en los suelos. (Pozo A. M., 2018)

3.4.6.1 Procedimiento de la elaboración de trampas de arroz para su implementación en campo.

1. En un recipiente se colocaron 3 litros de agua, hasta llegar al punto de ebullición y se colocaron 3 libras de arroz, por lo que se dejará en cocción 10 minutos, que esté en el punto adecuado para capturar microorganismos.
2. Autoclavamos el arroz, la melaza y el caldo de carne para esterilizar.
3. Se colocó en 15 tarritas 150 g de arroz en cada tarrita con una adición de 50 g de melaza y 50 g de caldo de carne para atraer rápidamente a estos microorganismos,
4. Se cubrieron las muestras con una media de nylon y se sujetaron con ligas de caucho.
5. Se realizaron hoyos de 20 cm de profundidad en forma de sig zag.
6. Se colocaron las tarritas en los hoyos y se cubrieron con hojas rascas de la misma zona. (Pozo A. M., 2018)

3.4.7. Técnicas de cultivo en placa

3.4.7.1 Técnica de siembra por estría en placa

Usamos esta técnica para obtener cultivos axénicos: con un asa de siembra se toma una muestra de la población mixta y, a continuación, se hacen estrías sobre la superficie de un medio sólido preparado en una placa de Petri. Conforme se van haciendo estrías en zigzag con el asa, cada vez se van depositando en la superficie del medio menos microorganismos.

A continuación, se flamea el asa, se toca en la región donde se han realizado las últimas estrías y se continúa la siembra con la misma técnica, en la superficie de medio sin sembrar aún. Repitiendo este proceso varias veces se logra separar células individuales. (Garrido, 2013)

3.4.7.2 Procedimiento para su implementación en el laboratorio.

- Se esteriliza el material de vidrio que se irá usando durante la investigación.
- Vaciamos las tarrinas en un recipiente, para la elaboración de la Solución Madre.
- Se procedió a filtrar la mezcla para eliminar la parte gruesa de la mezcla de Microorganismos Eficientes Autóctonos.

- En un recipiente se colocó la mezcla obtenida y se añadió 12 litros de agua destilada y mezclamos.
- En un tanque de 75 litros utilizamos 4 litros de la solución madre, 2 litros de melaza y 2 litros de leche de soya, mezclamos, tapamos y colocamos una manguera para sacar el oxígeno.

3.4.7.3 Siembra

- Para hongos: Pesamos 4 g de papa dextrosa PDA en 100 ml, mezclamos y autoclavamos.
- Para bacterias: Pesamos 4 g de Agar nutriente en 100 ml, mezclamos y autoclavamos.
- Se colocaron en tubos de ensayo 1 ml de la solución madre y 9 ml del agua destilada, agitamos por varios segundos.
- Se realizó diluciones de 10^0 hasta 10^{12} y tomamos los números pares en este caso sería 10^0 10^2 10^4 10^6 10^8 10^{10} 10^{12} (Pozo A. M., 2018)
- Colocamos 9 ml del AGAR y 1 ml de las diferentes diluciones obtenidas en 3 cajas Petri de cada dilución obtenida.
- Con ayuda del aza distribuimos en toda la caja Petri y procedemos a sellar.
- Colocamos las placas Petri en la incubadora durante 4 a 15 días a una temperatura de 25 a 37 °C para hongos y levaduras
- Colocamos las placas Petri en la incubadora durante 48 a 72 horas a una temperatura de 35 a 37 °C para bacterias (Pozo A. M., 2018).

3.4.8 Técnicas para identificación de microorganismos

Se utilizó la técnica de identificación fenotípica, un método que se utiliza para identificar microorganismos, como bacterias, levaduras a través de sus características observables.

Se empleó morfología colonial de los microorganismos, esto hace referencia a su forma y tamaño, y se estudia a través de una observación microscópica. Para ello, se utilizó un microscopio óptico con cámara sobre una preparación en fresco de un cultivo. (Pozo A. , 2018)

3.4.8.1 Procedimiento para observar en microscopio

- Flameamos el cubre y el porta objetos para evitar contaminación.
- En el porta objetos colocamos 1 gota de Lugol para hidratar al microorganismo.

- En el porta objetos colocamos 1 gota de azul de metileno.
- La caja Petri la dividimos en cuadrantes.
- Con ayuda de una Aza tomamos una muestra y la colocamos en el porta objetos mezclando el Lugol y el azul de metileno.
- Primero se observó en el óptico de 10 x y luego en el de 40 x.
- Con ayuda de un microscopio con cámara obtuvimos fotos de los diferentes microorganismos (Pozo A. M., 2018).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Aislamiento de los microorganismos de las muestras de suelo obtenidas en la captura en el Bosque Polylepsis y en la Reserva Ecológica El Ángel

Para el aislamiento se obtuvo los siguientes resultados

Se realizó diluciones de 0 a 12 y tomamos las dosis de los números pares en este caso sería 10^0 10^{-2} 10^{-4} 10^{-6} 10^{-8} 10^{-10} 10^{-12} .

Se colocaron en 12 tubos de ensayo 9 ml de agua destilada en cada uno luego colocamos en el primer tubo de ensayo que en este caso sería 10^0 1 ml de la solución madre de los microorganismos y pasamos 1 ml de un tubo de ensayo a otro para así ir bajando la cantidad de microorganismos.

Tabla 2. Cuadro de diluciones de las diferentes muestras.

Dosis	Tipos de muestra	Dilución
D0	Muestra polylepsis	10^0
D2	Muestra polylepsis	10^{-2}
D4	Muestra polylepsis	10^{-4}
D5	Muestra polylepsis	10^{-6}
D8	Muestra polylepsis	10^{-8}
D10	Muestra polylepsis	10^{-10}
D12	Muestra polylepsis	10^{-12}
D0	Muestra Reserva Ecológica El Ángel	10^0
D2	Muestra Reserva Ecológica El Ángel	10^{-2}
D4	Muestra Reserva Ecológica El Ángel	10^{-4}
D5	Muestra Reserva Ecológica El Ángel	10^{-6}
D8	Muestra Reserva Ecológica El Ángel	10^{-8}
D10	Muestra Reserva Ecológica El Ángel	10^{-10}
D12	Muestra Reserva Ecológica El Ángel	10^{-12}

D= dilución



Figura 5. Diluciones

Fuente: Fotografía tomada por el autor

4.1.1.1. Siembra

Se realizó la siembra de cada dilución obtenida 10^0 10^{-2} 10^{-4} 10^{-6} 10^{-8} 10^{-10} 10^{-12} .

Sembrando 3 placas de cada una, sumando un total de 21 placas Petri.

4.1.1.2. Incubación

Colocamos las placas Petri en la incubadora durante 4 a 15 días a una temperatura de 25 a 37 °C para hongos y levaduras respectivamente.

Colocamos las placas Petri en la incubadora durante 48 a 72 horas a una temperatura de 35 a 37 °C para bacteria

Transcurrido unas horas o días observamos periódicamente cómo van avanzando en el desarrollo del crecimiento de Unidades Formadoras de Colonias (UFC).



Figura 6. Incubaciones

4.1.2. Caracterizar morfológicamente los consorcios microbianos obtenidos mediante claves morfológicas para identificar géneros de hongos y bacterias.

Tabla 3. Características morfológicas de hongos presentes en el bosque Polylepis y en la reserva ecológica El Ángel.

Característica	Mucor sp.	Candida sp.	Aspergillus sp.	Metarhizium sp.	Penicillium sp.	Saccharomyces sp.
Tipo de hongo	Filamentoso	Levadura	Filamentoso	Filamentoso	Filamentoso	Levadura
Forma de colonia	Algodonosa, expansiva	Circular	Circular con elevación	Circular irregular	Circular	Circular
Borde	Difuso	Entero	Entero ligeramente ondulado	Irregular	Ondulado	Entero
Elevación	Plana	Convexa	Elevada o plana	Plana	Plana a elevada	Convexa
Superficie	Algodonosa	Lisa, brillante	Aterciopelada	Aterciopelada	Aterciopelada/polvosa	Lisa
Textura	Suave, esponjosa	Cremosa	Seca	Polvosa	Polvosa	Cremosa
Color (anverso)	Blanco a gris	Blanco a crema	verde, amarillo, negro	Verde oliva	Verde azulado	Blanco a crema
Color (reverso)	Blanco	Blanco	Amarillo pálido	Amarillento	Amarillo pálido	Blanco
Crecimiento	Rápido	Rápido	Rápido	Moderado	Rápido	Rápido
Aspecto general	Micelio abundante tipo algodón	Colonias húmedas	Colonias secas con esporas	Colonias verdes densas	Colonias pulverulentas	Colonias levaduriformes

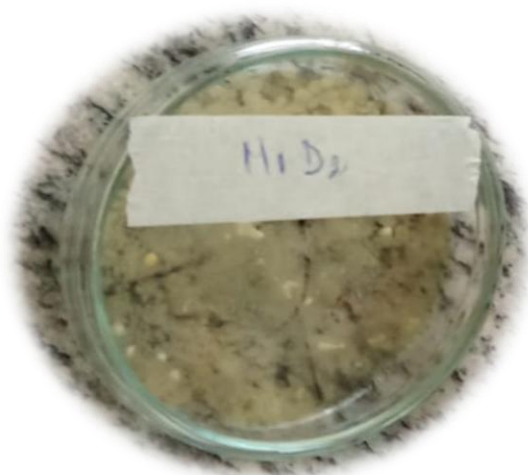


Figura 7. Micelios de hongos
Fuente: Fotografía tomada por el autor

Tabla 4. Características morfológicas de bacterias presentes en el bosque Polylepis y en la reserva ecológica El Ángel.

Característica	<i>Azotobacter sp.</i>	<i>Streptomyces sp.</i>	<i>Streptococcus sp.</i>
Tipo de bacteria	Bacilo	Filamentosa	Coco
Forma de colonia	Circular	Irregular, rugosa	Circular
Borde	Entero	Filamentoso	Entero
Elevación	Convexa	Plana a elevada	Convexa
Superficie	Lisa, brillante	Rugosa	Lisa
Textura	Mucosa	Seca, polvosa	Cremosa
Color (anverso)	Blanco a crema	Blanco, gris o marrón	Blanco a gris
Color (reverso)	Blanco	Marrón claro	Blanco
Crecimiento	Moderado	Lento	Rápido
Aspecto general	Colonias grandes y viscosas	Aspecto de hongo (micelio)	Colonias pequeñas y lisas

4.1.3. Cuantificar la densidad poblacional de los microorganismos aislados mediante el recuento de unidades formadoras de colonias (Ufc).

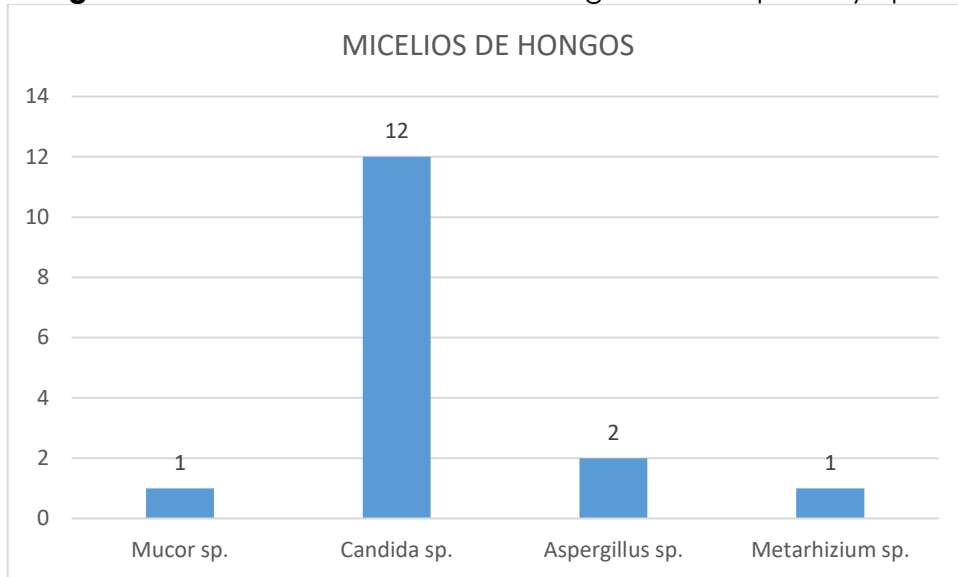
Tabla 5. Resultados Emas Bosque *Polylepis*

	Hongos	(Micelios)	Bacterias	(Colonias)
Muestra				
Bosque	<i>Mucor sp.</i>	1	<i>Streptomyces sp.</i>	3
<i>Polylepis</i>	<i>Candida sp.</i>	12	<i>Streptococcus sp.</i>	1
	<i>Aspergillus sp.</i>	2	<i>Azotobacter sp.</i>	4
	<i>Metarhizium sp.</i>	1		

En la observación correspondiente a la muestra específica obtenida del Emas Reserva Ecológica El Ángel se presenta un total de 7 diferentes microorganismos como se muestra en la siguiente gráfica en la cual se especifica el número total de colonias en hongos y bacterias:

En la muestra elaborada correspondiente a Bosque *Polylepis* se puede observar que hay un incremento de ufc del hongo *Aspergillus sp.*

Figura 8. Muestras elaboradas de hongos del Bosque Polylepis



En la muestra elaborada correspondiente a al Bosque Polylepis Se presenta un total de 3 diferentes microorganismos, de los cuales *Azotobacter sp.* es el que posee un mayor número de ufc como se muestra en la siguiente gráfica.

Figura 9. Muestras elaboradas de bacterias del Bosque Polylepis.

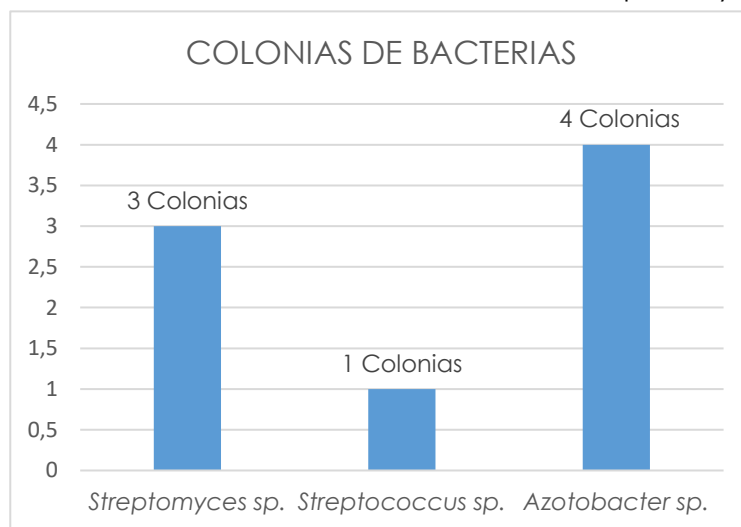


Tabla 6. Resultados Emas reserva ecológica el Ángel

Muestra del Bosque Polylepis	Microorganismos Observados			
	Hongos	(Micelios)	Bacterias	(Colonias)
	<i>Mucor sp.</i>	4	<i>Azotobacter sp</i>	4
	<i>Candida sp.</i>	3		
	<i>Aspergillus sp.</i>	7		
	<i>Saccharomyces sp.</i>	5		

En la muestra elaborada correspondiente a la reserva ecológica el Ángel presenta un incremento en las Ufc en lo que respecta a la bacteria *Azotobacter sp.* con un total de 4 Ufc, como se muestra en la siguiente gráfica.

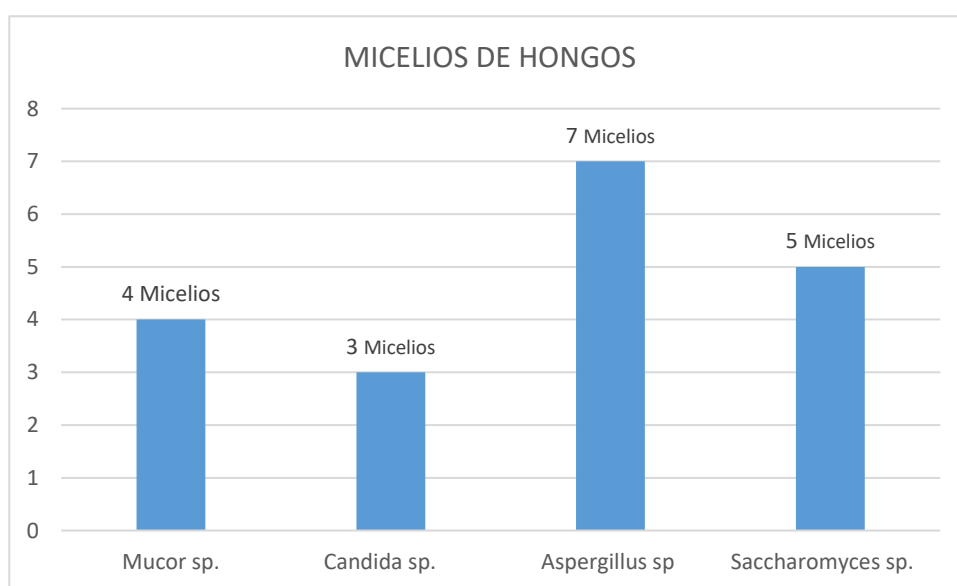


Figura10. Muestras elaboradas de hongos de la reserva ecológica el Ángel.

En la muestra elaborada correspondiente a la reserva ecológica el Ángel presenta un incremento en las Ufc en lo que respecta a la bacteria *Azotobacter sp.* con un total de 4 Ufc, como se muestra en la siguiente gráfica.

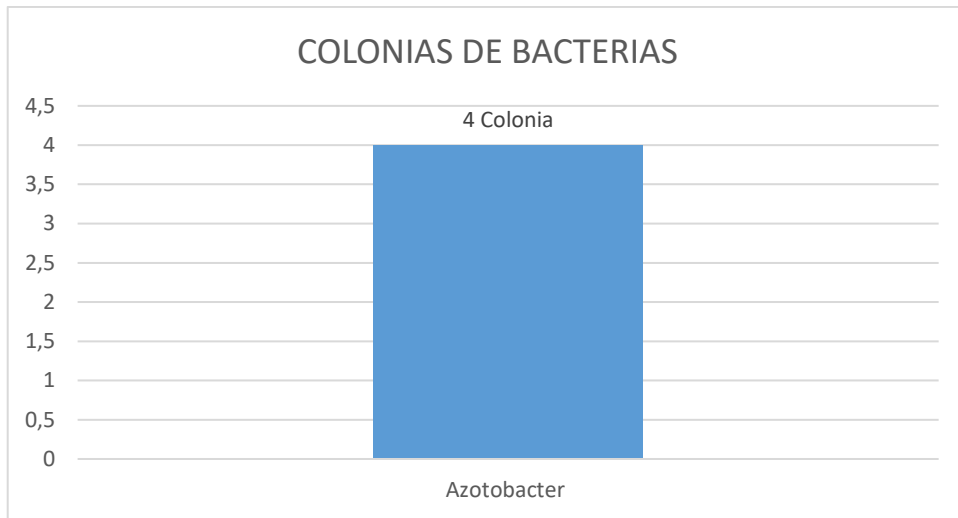


Figura 11. Muestra elaborada de bacterias de la reserva ecológica el Ángel

En estas tablas se observa que hay diferencias en la cantidad de hongos y bacterias tanto en el Bosque Polylepis como en la REEA. Notando también que en los dos ecosistemas existen similares especies de hongos y bacterias, esto es: en la REEA existen adicionalmente unas especies de hongos *Saccharomyces sp.* que no están presentes en el bosque Polylepis. Y en el Bosque Polylepis, Es decir, en el bosque Polylepis hay más géneros de hongos que en la REEA y en la REEA hay más géneros de bacterias que en el bosque Polylepis.

4.1.3.1. Unidades Formadoras de Colonias (Ufc) en el bosque Polylepis

Tomamos la dilución 10^{-12} y la sembramos realizando una estría en placa en medio de cultivos para hongos agar patata dextrosa PDA y para bacterias agar nutritivo

Obteniendo los siguientes resultados:

4.1.3.1.1 Muestra elaborada para hongos

Es la muestra que se va a aplicar a campo adicionado melaza y leche de soya como nutrientes

Tabla 7. Muestra elaborada para hongos

Muestra	Medio	Dilución	Temperatura	Tiempo de incubación	Micelios	Ufc/ml
Muestra elaborada	Agar papa dextrosa (PDA)	10^{-12}	25 37 ° C	4 a 7 días	63	$6,3 \times 10^{13}$

4.1.3.1.2 Muestra elaborada para bacterias

Es la muestra que se va a aplicar a campo adicionado melaza y leche de soya como nutrientes.

Tabla 8. Muestra elaborada para bacterias

Muestra	Medio	Dilución	Temperatura	Tiempo de incubación	Colonias	Ufc/ml
Muestra elaborada	Agar nutritivo	10^{-12}	25 37 ° C	24 a 48 horas	41	4.1×10^{13}

El conteo se realizó considerando placas con un número de colonias contables y aplicando el factor de dilución correspondiente. Los valores elevados de UFC/mL reflejan una alta carga bacteriana característica de suelos con elevada actividad microbiana.

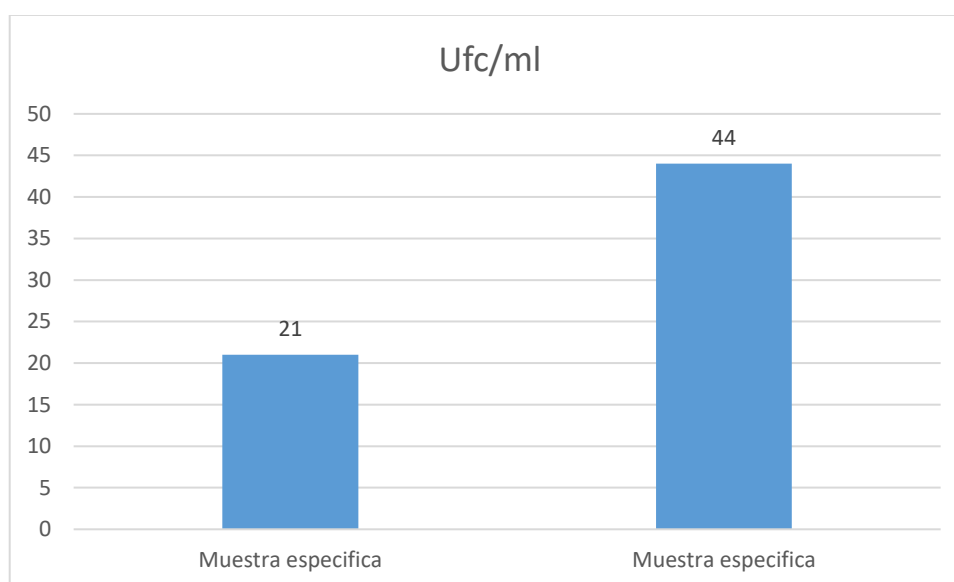


Figura 12. Unidades formadoras de colonias (Ufc) en el bosque Polylepis

4.1.3.2. Unidades Formadoras de Colonias (Ufc) en la reserva ecológica El Ángel.

Tomamos la dilución 10^{-12} y la sembramos realizando una estría en placa en medio de cultivos para hongos Agar Patata Dextrosa PDA y para bacterias Agar nutritivo.

Obteniendo los siguientes resultados:

4.1.3.2.1. Muestra elaborada para hongos (REEA)

Es la muestra que se va a aplicar a campo adicionado melaza y leche de soya como nutrientes

Tabla 9. Muestra elaborada para hongos

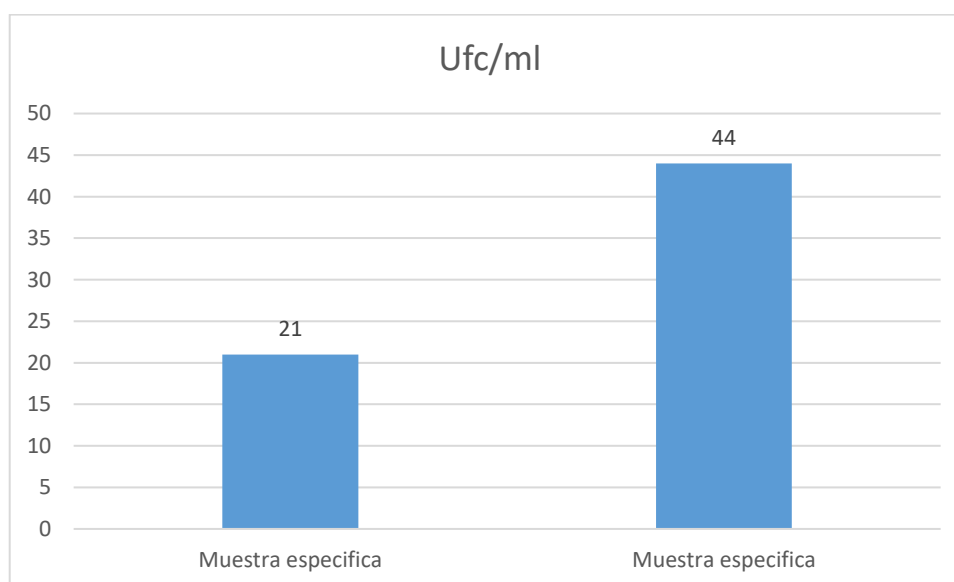
Muestra	Medio	Dilución	Temperatura	Tiempo de incubación	Micelios	Ufc/ml
Muestra elaborada	Agar papa dextrosa (PDA)	10 ⁻¹²	25 37 ° C	4 a 7 días	21	2.1 × 10 ¹³

4.1.3.2.2. Muestra elaborada para bacterias (REEA)

Es la muestra que se va a aplicar a campo adicionado melaza y leche de soya como nutrientes.

Tabla 10. Muestra elaborada para bacterias

Muestra	Medio	Dilución	Temperatura	Tiempo de incubación	Colonias	Ufc/ml
Muestra elaborada	Agar nutritivo	10 ⁻¹²	25 37 ° C	24 a 48 horas	44	4.4 × 10 ¹³

**Figura 13.** Unidades Formadoras de Colonias Ufc en la reserva ecológica El Ángel

El conteo se realizó considerando placas con un número de colonias contables y aplicando el factor de dilución correspondiente. Los valores elevados de Ufc/ml reflejan una alta carga bacteriana característica de suelos con elevada actividad microbiana.

4.2. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el recuento microbiológico evidenciaron diferencias cuantitativas entre las diferentes placas analizadas. Se registraron valores como:

Para la determinación de unidades formadoras de colonias (Ufc) para hongos. Los resultados evidenciaron concentraciones de 6.3×10^{13} UFC/ml en el bosque polylepis, y 2.6×10^{13} UFC/ml en la REEA, indicando una elevada densidad fúngica. Morfológicamente, las colonias presentaron crecimiento algodonoso, textura filamentosa, bordes irregulares y pigmentaciones verdes, grises y blanquecina.

Y para las bacterias. Los resultados evidenciaron concentraciones de 4.1×10^{13} Ufc/ml para el bosque polylepis y 4.4×10^{13} Ufc/ml en la REEA, lo que indica una importante densidad bacteriana en el ecosistema evaluado. Morfológicamente, las colonias presentaron formas circulares, convexas, bordes enteros y pigmentación blanquecina a crema, características típicas de bacterias heterótrofas del suelo

El valor máximo registrado 63×10^{12} Ufc/ml sugiere una mayor proliferación bacteriana, posiblemente asociada a mejores condiciones edáficas como:

Mayor contenido de carbono orgánico, mejor retención de humedad, menor perturbación antrópica. En contraste, el valor de 11×10^{12} Ufc/ml, aunque inferior, sigue representando una concentración microbiológica elevada dentro de rangos reportados para suelos forestales andinos.

Desde el punto de vista ecológico, concentraciones del orden de 10^{12} Ufc/ml reflejan: Estos resultados confirman que tanto el Bosque de Polylepis como la Reserva Ecológica El Ángel presentan comunidades microbianas funcionales.

El sitio con 6.3×10^{12} Ufc/ml probablemente presenta mayor acumulación de hojarasca y residuos vegetales, lo que favorece la proliferación de bacterias heterótrofas y hongos descomponedores.

En ecosistemas altoandinos como el Bosque de Polylepis, el microbiota del suelo cumple un rol determinante en la estabilidad y sostenibilidad del ecosistema.

Reflejan diferencias en la actividad microbiológica del suelo, las cuales se relacionan directamente con la producción de materia verde y materia seca.

El sitio con mayor concentración (6.3×10^{12} Ufc/ml) presentó mayor productividad vegetal, lo que confirma la relación positiva entre microbiología del suelo y rendimiento de biomasa.

(Pozo A. M., 2018) En suelos de la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas, en la provincia de Imbabura, Ecuador. La cuantificación microbiológica mediante Unidades Formadoras de Colonias (UFC/g de suelo) evidenció densidades comprendidas entre bacterias heterótrofas y para hongos filamentosos, indicando su alta actividad biológica, en comparación del bosque polylepis y reserva ecológica El Ángel. La caracterización funcional demostró que los EM aislados contribuyen a la solubilización de fósforo, fijación biológica de nitrógeno y degradación de materia orgánica, procesos esenciales para la fertilidad y salud del suelo en ecosistemas forestales. Se observó una diversidad microbiana significativa, destacando bacterias del género *Bacillus* y *Pseudomonas* y hongos filamentosos como *Penicillium* y *Aspergillus*.

Se concluye que la combinación de morfología colonial, análisis microscópico y pruebas bioquímicas constituye un método confiable para identificar microorganismos eficientes, y que la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas es un reservorio natural de microorganismos con alto potencial biofertilizante y ecológico.

(Toapanta, 2019) Asimismo, investigó el potencial biotecnológico de los consorcios microbianos en el norte del Ecuador. El autor enfatiza que, aunque se conoce la existencia de estos microorganismos, la falta de una caracterización morfológica detallada en áreas protegidas limita su uso. En su trabajo, logró estandarizar procesos de aislamiento en laboratorio que permiten diferenciar grupos funcionales mediante la observación de bordes, elevación y color de las colonias en medios de cultivo sólidos.

Por otro lado, (Martinez, 2021) en una investigación en los Andes peruanos, evaluó la densidad poblacional de microorganismos en ecosistemas de altura. Los autores identificaron que los suelos con alta presencia de materia orgánica y vegetación nativa (similares al Bosque Polylepis) presentan una carga microbiana superior a 1×10^6 UFC/g, predominando los hongos filamentosos en las capas superficiales debido a su rol en la descomposición de la lignina y celulosa.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La presencia de microorganismos autóctonos en ambos ecosistemas, evidenciada mediante el conteo de Unidades formadoras de colonias (Ufc), confirma que los suelos del Bosque Polylepis y la Reserva Ecológica El Ángel poseen un microbiota activa y funcional. los resultados evidenciaron concentraciones de 6.3×10^{13} UFC/ml en el bosque polylepis. y 2.6×10^{13} UFC/ml en la REEA, indicando una elevada densidad fúngica morfológicamente, los micelios presentaron crecimiento algodonoso, textura filamentosa, bordes irregulares y pigmentaciones verde, gris y blanquecina. Y para las bacterias. los resultados evidenciaron concentraciones de 4.1×10^{13} UFC/ml para el bosque polylepis y 4.4×10^{13} UFC/ml en la REEA lo que indica una importante densidad bacteriana en el ecosistema evaluado.
- Bosque Polylepis existe mayor presencia de Hongos en comparación al REEA en la cual existe mayor presencia de bacterias, esto debido a la humedad del bosque Polylepis.
- La diversidad biológica de hongos, bacterias y levaduras nos demuestra que los suelos poco intervenidos por la mano del hombre conservan su riqueza biológica. Poner cuáles son los microorganismos que se encontró tanto en REEA como en el Polylepis.
- Tanto en REEA como en bosque polylepis se encontraron hongos como: Mucor sp. Candida sp. Aspergillus sp. Metarhizium sp. Penicillium sp. Saccharomyces sp. También se encontraron bacterias como: Streptomyces sp. Azotobacter sp.
- Los microorganismos (bacterias, hongos) trabajan como consorcios microbianos, influyendo en la producción y calidad de los cultivos mediante varios mecanismos: mayor crecimiento vegetativo, más altura y mayor peso fresco por hectárea.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar más investigaciones para determinar, a nivel de género y especie, los EMAs presentes.
- Realizar más investigaciones a nivel molecular para identificar género y especies de los microorganismos.
- Se realicen pruebas de campo en determinados cultivos de importancia económica para observar sus beneficios en la producción.
- Con los resultados obtenidos de la identificación de los EMAs, se sugiere la práctica de una agricultura sostenible.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baquerizo, D. (2020). *Google Escolar*. Obtenido de Google Escolar: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=FjwhLQsAAAAJ&citation_for_view=FjwhLQsAAAAJ:0EnyYjriUFMC
- Cordova, E. A. (2024). *Centa*. Obtenido de Centa: https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/0603028/pdf/production/vegetable_04.pdf
- Enrique, R. T. (19 de junio de 2013). Obtenido de <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/21/1/082%20INFLUENCIA%20DE%20LOS%20MICROORGAN%3%8DSMOS%20EFICIENTES%20EM%20EN%20LA%20PRODUCCI%3%93N%20DE%20UNA%20MEZCLA%20DE%20FORRAJE%20-%20RUANO%20TATAMUES%2C%20LEYBER.pdf>
- Enrique, R. T. (2013). *Repositorio Upec*. Obtenido de Repositorio Upec: <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/21/1/082%20INFLUENCIA%20DE%20LOS%20MICROORGANISMOS%20EFICIENTES%20EM%20EN%20LA%20PRODUCCI%3%93N%20DE%20UNA%20MEZCLA%20DE%20FORRAJE%20-%20RUANO%20TATAMUES%2C%20LEYBER.pdf>
- Feijoo, M. A. (Octubre de 2016). *Revista científica de agroecosistemas*. Obtenido de Revista Científica Agroecosistemas: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/jlquintero,+Gestor_a+de+la+revista,+5%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/jlquintero,+Gestor_a+de+la+revista,+5%20(6).pdf)
- Garrido, A. C. (2 de Mayo de 2013). *Seramix*. Obtenido de Seramix: <https://seramix.blogs.uv.es/2013/05/02/metodo-de-siembra-en-estria/>
- Giovannetti, N. y. (2015). *sciencedirect.com*. Obtenido de sciencedirect.com: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9780443191213000193>
- Gonzales. (2019). *Biblioteca del congreso nacional de Chile*. Obtenido de Biblioteca del congreso nacional de Chile.: Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes.
- Herranz, L. (04 de Octubre de 2021). *UISEK*. Obtenido de UISEK: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Esp%C3%ADn%20Osorio%20Samia%20Mishell%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Esp%C3%ADn%20Osorio%20Samia%20Mishell%20(1).pdf)

Higa. (2021). Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9495453/>

IVAMI. (3 de Enero de 2020). Obtenido de IVAMI: <https://www.ivami.com/es/microbiologia-vegetal/6216-streptomyces-spp-cultivo-diagnostico-molecular-pcr>

Mahdieh. (2018). *Science direct.com*. Obtenido de Science direct.com: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/microbial-morphology>

Martinez, G. y. (2021). *Scientia Agropecuaria*. Obtenido de Scientia Agropecuaria: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/3339#:~:text=Pastos%20naturales%20altoandinos%2C%20carbono%20org%C3%A1nico%2C%20almacenamiento%20en,se%20ha%20estudiado%20mayormente%20en%20ecosistemas%20forestales%2C>

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Obtenido de Ministerio del Ambiente del Ecuador: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-025.pdf>

Montaño, D. (18 de Marzo de 2021). *Mongabay*. Obtenido de Mongabay: <https://es.mongabay.com/2021/03/nuevo-estudio-en-los-ultimos-26-anos-ecuador-ha-perdido-mas-de-2-millones-de-hectareas-de-bosque/>

Nepita, P. p. (6 de Octubre de 2020). *wordpress.com*. Obtenido de wordpress.com: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacologia/catedraMicro/08_Tema_2_morfologia.pdf

Perez, L. &. (2018). *Ecologia Austral*. Obtenido de Ecologia Austral: Ecologia Austral

Pineda. (2020). *Repositorio Unal*. Obtenido de Repositorio Unal: <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/06b6b3bd-edd0-4b06-ba48-48945dddc7/content>

Pozo, A. (2018). *Sathiri Upec*. Obtenido de Sathiri Upec: Sathiri Upec

Pozo, A. M. (2018). *Sathiri*. Obtenido de Sathiri: https://www.researchgate.net/publication/332334606_Captura_identificacion_multiplicacion_y_aplicacion_de_microorganismos_eficientes_autoctonos_EM_As_para_su_aprovechamiento_en_la_produccion_integral_agropecuaria

PUCE. (2018). Obtenido de puce: <https://bioweb.bio/floraweb/polylepis/home>

Rodriguez Meza, D. A. (2018). *UNAP*. Obtenido de UNAP: <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/items/a90745fb-ef15-43d2-953b-0ef14bc22c58>

Sensacultivos. (06 de Marzo de 2023). Obtenido de Sensacultivos: https://sensacultivo.es/2023/03/06/contaminacion-por-nitratos-en-agricultura/?utm_source=chatgpt.com

Toapanta, V. y. (2019). *Revista digital UCE*. Obtenido de Revista digital UCE: [https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/95fc655e-e736-4dab-96f5-a149267bf410/content#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20representa%20todo%20el,%2D%20marzo\)%20para%20este%20estudio.](https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/95fc655e-e736-4dab-96f5-a149267bf410/content#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20representa%20todo%20el,%2D%20marzo)%20para%20este%20estudio.)

Tordin, C. (21 de Mayo de 2024). *Revista cultivar*. Obtenido de Revista cultivar: <https://revistacultivar-es.com/noticias/Los-consorcios-microbianos-aumentan-la-productividad-y-la-sostenibilidad-en-la-agricultura.#:~:text=Asimismo%2C%20un%20consorcio%20de%20Pseudomonas,en%20la%20producci%C3%B3n%20agr%C3%ADcola%20sostenible.>



Upec. (2023). Obtenido de Upec: <https://repositorio.upec.edu.ec/home>

Uysal, O. (09 de Enero de 2016). *Researchgate*. Obtenido de Researchgate: <https://www.researchgate.net/post/How-can-I-calculate-colony-forming-unit-cfu-for-bacteria>

Valenzuela, A. G. (2022). Obtenido de <http://www.biblioweb.fic.unam.mx/libros/microbios/Cap16/>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de predefensa del TIC


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI


FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE AGROPECUARIA
ACTA
DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDEFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR


ESTUDIANTE: Cadena Narváez Edwin Bladimir	CÉDULA DE IDENTIDAD: 0401840533
PERIODO ACADÉMICO: 2026A	
PRESIDENTE TRIBUNAL: DR. HERNÁN RIGOBERTO BENAVIDES ROSALES	DOCENTE TUTOR: DR. LUIS RODRIGO BALAREZO URRESTA
DOCENTE: DR. SEGUNDO RAMIRO MORA QUILISMAL	
TEMA DEL TIC: "Identificación de microorganismos eficientes autóctonos del suelo EMAS en el Bosque Polylepis y en la Reserva Ecológica El Ángel"	

No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	8,00	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8,00	
3	METODOLOGÍA	8,00	Indicar como realizó la investigación
4	RESULTADOS	8,00	Elaborar cuadros con valores ideales y comparar con valores obtenidos
5	DISCUSIÓN	8,00	Realizar la Discusión
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	8,00	En función a la discusión realizar las conclusiones y recomendaciones
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	8,00	
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	8,00	Revisar Formato

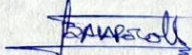
Obteniendo una nota de: **8,00** Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

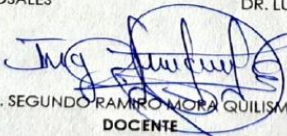
Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **Jueves, 12 de marzo de 2026**



DR. HERNÁN RIGOBERTO BENAVIDES ROSALES
PRESIDENTE TRIBUNAL



DR. LUIS RODRIGO BALAREZO URRESTA
DOCENTE TUTOR



DR. SEGUNDO RAMIRO MORA QUILISMAL
DOCENTE

Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN AND
NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: Cadena Narváez Edwin Bladimir				
DATE: Monday, June 1st. 2026				
Topic: "Identification of native efficient microorganisms from the soil (EMAS) in the Polylepis Forest and the El Ángel Ecological Reserve."				
MARKS AWARDED		QUANTITATIVE AND QUALITATIVE		
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
De	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
TOTAL/AVERAGE	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED	TOTAL 9		



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autor: Cadena Narváez Edwin Bladimir

Fecha de recepción del abstract: Lunes, 01 de junio de 2026

Fecha de entrega del informe: Lunes, 01 de junio de 2026

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros
RESPONSABLE CIDEN