

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGIA

TEMA:

APLICACIÓN DE BACTERIAS (*ALCALIGENES FAECALIS*) PARA MEJORAR LA
CALIDAD DE AIRE QUE HAY EN LOS GALPONES DE GALLINA

Autor:

DR JORGE EDUARDO CHAVEZ CARDENAS

Director:

MV. VERA RODRIGUEZ JOSE HUMBERTO, MG.

Milagro, 2024

Derechos de autor

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Jorge Eduardo Chávez Cárdenas** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magister en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **Manejo integrado de cultivos y ganado** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académico.

Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, **23 de noviembre de 2023**



Jorge Eduardo Chávez Cárdenas

1801811439

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Yo, **José Humberto Vera Rodríguez** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **Jorge Eduardo Chávez Cárdenas**, cuyo tema es **Aplicación de bacterias (*Alcaligenes faecalis*) para mejorar la calidad de aire que hay en los galpones de gallina**, que aporta a la Línea de Investigación **Manejo integrado de cultivos y ganado**, previo a la obtención del Grado Magister en biotecnología. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 21 de septiembre de 2023



JOSE HUMBERTO VERA
RODRIGUEZ

Dr. José Humberto Vera Rodríguez

CI: 131258756-9

Certificación de la defensa



VICERRECTORADO DE INVESTIGACION Y POSGRADO DIRECCIÓN DE POSGRADO CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **DR. CHAVEZ CARDENAS JORGE EDUARDO**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "APLICACIÓN DE BACTERIAS ALCALIGENES FAECALIS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AIRE QUE HAY EN LOS GALPONES DE GALLINAS LIVIANAS ISA BROWN DEL CANTON COTALO, TUNGURAGUA - ECUADOR", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	56.67
SUSTENTACIÓN	35.00
PROMEDIO	91.67
EQUIVALENTE	Muy Bueno



Firmado digitalmente por
MANUEL ALEJANDRO
FIALLOS CARDENAS

Mgtr. FIALLOS CARDENAS MANUEL ALEJANDRO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado digitalmente por
KEVIN XAVIER
HUILCAREMA ENRIQUEZ

Mcimq HUILCAREMA ENRIQUEZ KEVIN XAVIER
VOCAL



Firmado digitalmente por
YESSENIA BEATRIZ
SARANGO ORTEGA

Munabmm SARANGO ORTEGA YESSENIA BEATRIZ
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi querida esposa Kelly quien me incentivo a realizar esta carrera académica luego de varios años de estar alejado de los libros, también va dedicado a mis queridos hijos Jorge y Ornella que son mi motivación diaria de seguir adelante.

A mi querida Madre que siempre esta presente con sus oraciones.

Jorge Chávez Cárdenas

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios y a la Santísima Virgen María que me han brindado la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida profesional.

Agradezco a mi familia que han sido el motor principal en esta etapa brindándome su apoyo y paciencia incondicional en este trayecto académico, a mis compañeros que he conocido en esta carrera y que con su generosa contribución he logrado concluir con éxito este camino.

Debo agradecer a la UNEMI que me abrió las puertas para conseguir este gran logro académico.

Jorge Chávez Cárdenas

Resumen

El amoníaco constituye un serio problema dentro de las explotaciones pecuarias y la contaminación que genera al ambiente, es de gran importancia controlar este problema ya que los animales tienen enfermedades recurrentes, lo que se traduce en pérdidas económicas. Es por eso que el objetivo del estudio consistió en disminuir las emisiones de amoníaco en galpones avícolas de la zona de Pinguilí, de la provincia de Tungurahua-Ecuador aplicando bacterias *Alcaligenes faecalis*. La granja posee 160.000 gallinas ponedoras, línea Lohmann Brown diversas edades, distribuidas en 6 galpones. La edad promedio de las aves fue 45 semanas al momento de empezar las pruebas de aplicación. Las dosis aplicadas fueron: 0ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #1 (T0, tratamiento testigo), 500 ml bacteria *A. faecalis* en el galpón #2 (T1, tratamiento 1), 1000 ml bacteria *A. faecalis* en el Galpón #3 (T2, tratamiento 2), 1500ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #4 (T3, tratamiento 3), 2000ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #5 (T4, tratamiento 4) y 2500ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #6 (T5, tratamiento 5). El área que cubrió cada aplicación fue 330m², se aplicaron las diferentes dosis en una bomba de 20lt y se fumigó en las pozas de abono para proceder a tomar los datos de los resultados del ensayo. Las mediciones en los galpones fueron a las 12:00-13:00 pm, cuando el amoníaco llega al pico máximo. En el transcurso de 34 días de ensayo se encontró que los valores de ppm de NH₃ fueron disminuyendo en relación al tiempo, es decir que al cuarto día es donde hubo más disminución de las ppm de NH₃. Se evidenció que el tratamiento 4, de 2000ml de *A. faecalis* fue el más efectivo en cuanto a su persistencia en el tiempo controlando los niveles de NH₃ en el galpón. Se concluye y se acepta la hipótesis inicial, indicando que *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13 ayudó a disminuir las emisiones de amoníaco en galpones y contribuir en el cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: *Alcaligenes faecalis*, amoníaco, avícolas.

Abstract

Ammonia is a serious problem within livestock farms and the pollution it generates to the environment, it is of great importance to control this problem since animals have recurrent diseases, which translates into economic losses. That is why the objective of the study was to reduce ammonia emissions in poultry houses in the Pinguilí area, in the province of Tungurahua, Ecuador by applying *Alcaligenes faecalis* bacteria. The farm has 160,000 laying hens, Lohmann Brown line of various ages, distributed in 6 sheds. The average age of the birds was 45 weeks at the start of application trials. The doses applied were: 0 ml of *A. faecalis* bacteria in House #1 (T0, control treatment), 500 ml of *A. faecalis* bacteria in house #2 (T1, treatment 1), 1000 ml *A. faecalis* bacteria in the House #3 (T2, treatment 2), 1500ml of *A. faecalis* bacteria in House #4 (T3, treatment 3), 2000ml of *A. faecalis* bacteria in House #5 (T4, treatment 4) and 2500ml of *A. bacteria. faecalis* in House #6 (T5, treatment 5). The area covered by each application was 330m², the different doses were applied in a 20lt pump and fumigated in the compost ponds to proceed to take the data of the results of the trial. Measurements in the sheds were at 12:00-13:00 pm, when ammonia peaks. Over the course of 34 days of the trial, it was found that the ppm values of NH₃ decreased in relation to time, that is, the fourth day is where there was the greatest decrease in the ppm of NH₃. It was shown that treatment 4, of 2000ml of *A. faecalis*, was the most effective in terms of its persistence over time, controlling NH₃ levels in the shed. The initial hypothesis is concluded and accepted, indicating that *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13 helped to reduce ammonia emissions in sheds and contribute to the care of the environment.

Key words: *Alcaligenes faecalis*, ammonia, poultry.

Índice o Sumario

Derechos de autor.....	ii
Aprobación del director del Trabajo de Titulación	iii
Certificación de la defensa	iv
Declaración de autoría de la investigación.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
Lista de Tablas	x
Lista de Figuras	xi
Resumen	xiii
Abstract	xiv
Introducción.....	1
Capítulo I: El problema de la investigación	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Delimitación del problema	4
1.3 Formulación del problema	4
1.4 Preguntas de investigación.....	5
1.5 Determinación del tema.....	5
1.6 Objetivo general	5
1.7 Objetivos específicos.....	5
1.8 Hipótesis (de existir).....	6
1.9 Declaración de las variables (operacionalización)	6
1.10 Justificación.....	7
1.11 Alcance y limitaciones	8
1.11.1. Alcances	8
1.11.2. Limitaciones	10
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial.....	13
2.1 Antecedentes	13
2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación	14
2.2.1. Betaproteobacterias	14
2.2.2. Alcaligenes faecalis	14
2.2.3. Ciclo del nitrógeno	17
2.2.4. Amoniaco	20

2.2.5. Gallinas	22
2.2.6. Producción avícola en Ecuador	22
2.2.7. Enfermedades respiratorias en aves por amoniaco.....	24
2.2.8. Reducción de amoníaco en granja de aves	24
2.2.9. Biotecnología microbiana	25
2.2.10. Biotecnología sanitaria	27
CAPÍTULO III: Diseño metodológico.....	28
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	28
3.2 La población y la muestra.....	28
3.2.1 Características de la población	28
3.2.2 Delimitación de la población.....	29
3.2.3 Tipo de muestra	30
3.2.4 Tamaño de la muestra	30
3.2.5 Proceso de selección de la muestra.....	30
3.3 Los métodos y las técnicas.....	31
3.4 Procesamiento estadístico de la información.....	33
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados	34
4.1 Análisis de los resultados	34
4.2 Interpretación de los resultados.....	36
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones	39
5.1 Conclusiones.....	39
5.2 Recomendaciones.....	39
Bibliografía.....	41
Anexos	51

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Comparaciones múltiples entre tratamientos de A. faecalis en los niveles de amoniaco(ppm)</i>	34
--	-----------

Lista de Figuras

Figura 1. Áreas de galpones donde se llevaron a cabo los ensayos de aplicación de *A. faecalis* para reducir el amoniaco ambiental... **30**

Figura 2. Concentración de amoniaco vs. Tiempo, por tratamiento de *A. faecalis* EBN-NS13 **36**

Lista de Siglas / Acrónimos

1. **GEI.** Gas efecto invernadero
2. **L.** Litro
3. **NH₃.** Amoniac
4. **N₂O.** Óxido nitroso
5. **pH.** Potencial de Hidrógeno
6. **NH₄.** Amonio

Introducción

La creciente población humana a nivel mundial presiona al aumento de la producción de alimentos producidos por el sector agropecuario, el 50% es de origen animal, muchos grupos de ambientalistas culpan a la industria agropecuaria como el gran responsable del calentamiento global porque generan contaminantes que acaban en el suelo, agua y atmosfera, siendo así que algunos países industrializados crearon regulaciones sobre uso y manejo de excretas para que su impacto ambiental sea el menor posible. Folarodi, (2007) afirma que la conciencia ambiental desarrollada durante las últimas cuatro décadas representa un avance civilizatorio, ya que cualquier disminución en los índices de contaminación o de depredación de la naturaleza externa significa mejoras en el nivel de vida. (p.22).

El impacto ambiental que genera la producción avícola es muy grande ya que contribuye a la contaminación del aire con la generación de gases como el amoníaco, sulfuro de hidrógeno y compuestos volátiles de azufre que son causantes de malos olores y que afectan a las poblaciones locales. A la industria Avícola se le considera una industria contaminante para el agua, favoreciendo la eutrofización, para el aire por los olores desagradables y para el suelo por que puede desequilibrar el pH, causar acumulación de metales pesados, entre otros efectos dañinos (Ruiz et al., 2019).

El estiércol que se genera en los sistemas de producción pecuaria puede provocar impactos ambientales negativos si no existe un control en el almacenamiento, el transporte o la aplicación, debido a la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera, y la acumulación de micro y macro nutrientes en el suelo y en los cuerpos hídricos superficiales. Pinos-Rodriguez, (2012) afirma que el estiércol también puede contener bacterias patógenas entre ellas el *Escherichia coli* que causa problemas gastrointestinales, gases abdominales. Las descargas en el aire liberadas por el estiércol de las gallinas hacia la atmosfera destacan el amoniaco y también otros gases que tienen efecto invernadero (GEI) que incluye metano y óxido nitroso. (p. 359).

El impacto ambiental del estiércol generado por la producción avícola de gallinas ponedoras, aumentan las enfermedades en las aves y en los trabajadores que están expuestos a un constante nivel alto de amoniaco. Vásquez, (2020) indica que el

amoníaco es un gas incoloro e irritante con un olor penetrante e intenso que se produce a partir de las proteínas concretamente de la fracción nitrogenada contenida en las heces de los animales. Normalmente los niveles perceptibles por la nariz humana están en un nivel de 5 ppm y un aumento de estos niveles en granjas avícolas puede afectar a los trabajadores generando enfermedades como asma, pulmonía, enfermedades oculares (irritación de las mucosas), esto cuando la ventilación de las granjas es deficiente. (párr. 2).

El inminente crecimiento de la industria avícola por el aumento en el número de aves de granja y planteles de producción ha provocado el incremento de la emisión de varios gases por la interacción con las condiciones medioambientales, como temperatura, humedad, ventilación, entre otros factores. Estas condiciones, junto con factores físicos y biológicos como la descomposición de excretas y en materiales de cama, originan el amoniaco, que repercute en problemas de contaminación ambiental, dentro y fuera de la nave avícola, adicional los problemas que se generan con el personal que cumple las labores en las explotaciones (Cohuo-Colli et al. 2016, p. 83).

El uso de microorganismo biorremediadores es de vital importancia para tener una producción libre de problemas productivos en los animales, se ha indicado que el amoniaco NH_3 tiene efectos nocivos y dañinos sobre la salud y desempeño de las aves, lo que conllevan a pérdidas productivas que muchas veces no logran ser cuantificadas económicamente por los productores (Romero López & Vargas Mato, 2017).

Alcaligenes faecalis brindan muchos beneficios para las explotaciones pecuarias, purificando el aire, dejando un ambiente limpio para que los animales tengan confort y lleguen a alcanzar el performance adecuado, disminuyendo los desafíos de patógenos oportunistas que se encuentran en un aire viciado. En este trabajo se contribuyó y se empleó un nuevo método biológico que permite reducir en gran cantidad la emisión de NH_3 en los diferentes galpones de gallinas productoras de huevo comercial.

Capítulo I: El problema de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

El problema ambiental derivado del estiércol de aves ha alcanzado proporciones significativas debido a la extensa producción industrial y a una gestión no sostenible, generando emisiones de gases de efecto invernadero, malos olores, pérdida de nutrientes y la presencia de contaminantes inorgánicos, orgánicos y biológicos. La mayoría de las amenazas ambientales derivadas del estiércol no gestionado resultan de las emisiones de amoníaco (NH_3) y óxido nitroso (N_2O), siendo más altas para el estiércol de aves en comparación con el estiércol de ganado independientemente de los procesos tecnológicos (Kacprzak et al., 2023).

La presencia elevada de NH_3 en las instalaciones de cría de aves, cuando supera los 25 ppm, tiene consecuencias adversas en diversas áreas. Estos efectos incluyen la reducción del peso corporal, la eficiencia en la conversión del alimento, la capacidad de supervivencia, la tasa de conversión de la carcasa y el funcionamiento del sistema inmunológico de las aves. Además de estos impactos, la elevada concentración de NH_3 también puede provocar molestias, inflamación ocular y un aumento en el estrés oxidativo (Kristensen & Wathes, 2019).

La volatilidad del NH_3 en el lecho avícola está influenciada por factores como el pH, la humedad, la tasa de ventilación, la velocidad del aire, el contenido de nitrógeno (N) en el estiércol y la temperatura. El pH del lecho es un elemento crucial que regula la liberación de NH_3 , ya que determina la proporción entre las formas iónicas y no volátiles del amonio volátil (NH_4^+ / NH_3). Niveles elevados de NH_3 pueden dañar las membranas mucosas del sistema respiratorio de las aves, aumentando su vulnerabilidad a infecciones respiratorias, especialmente la infección por *Escherichia coli* (Swelum et al., 2021).

Los altos niveles de amoníaco por encima de 25 ppm y a exposiciones crónicas pueden ocasionar afecciones a la salud aviar. Este inconveniente compromete la habilidad de las aves para localizar de manera efectiva alimentos y agua, resultando frecuentemente en situaciones de mortalidad (Aiello et al., 2016), reduciendo los rendimientos en producción. De hecho, este sector económico corresponde al 24% de producción agropecuaria nacional (La Colina, 2022), por lo que el aumento en amoníaco en los galpones estaría correlacionado con pérdidas económicas del país.

1.2 Delimitación del problema

El estudio se enfoca en una granja avícola llamada “Cecilita”, ubicada en Pinguilí, Mocha. Con mediciones de amoníaco en el aire a través del tiempo en un galpón de gallina ponedoras. Esto facilita el manejo y control de las mediciones. La capacidad de la granja fue de 160 000 aves. Las pruebas se llevaron a cabo durante un mes con mediciones diarias de amoníaco. Los bloques fueron escogidos al azar a lo largo del tiempo de pruebas. Las dosis aplicadas por metro cuadrado se utilizaron bajo recomendación de técnicos e información comercial del producto (*A. faecalis*) para optimizar el número de tratamientos.

1.3 Formulación del problema

Los niveles altos de amoníaco en la granja Cecilita causan reducción en la producción de gallinas ponedoras, por lo que es necesario aplicar tratamientos para reducir los niveles de amoníaco a niveles seguros. Se emplea bacterias *A. faecalis*, para remoción del amoníaco volátil y estudiar el comportamiento del amoníaco a través del tiempo y por cada dosis aplicada. Con el fin de determinar la combinación más óptima y confirmar que *A. faecalis* es efectiva para este fin.

1.4 Preguntas de investigación

¿Puede la aplicación de *A. faecalis* en los galpones de gallinas ponedoras de la granja Cecilita mantener los niveles de amoníaco por debajo de los niveles tóxicos (<25ppm)?

¿Se puede determinar la dosis de *A. faecalis* por metro cuadrado más efectiva para reducir los niveles de amoníaco en la granja Cecilita?

1.5 Determinación del tema

Aplicación de *Alcaligenes faecalis* en una granja de gallinas ponedoras situada en la parroquia de Pinguilli, Ecuador. El objetivo es disminuir los niveles de amoníaco y mantenerlos por debajo de los umbrales críticos para la salud. Durante un periodo de un mes, se realizarán mediciones diarias para evaluar el impacto del tratamiento.

1.6 Objetivo general

Disminuir las emisiones de amoníaco que se generan en galpones de producción de gallinas ponedoras de huevos comerciales en la zona de Pinguilí de la provincia de Tungurahua-Ecuador aplicando bacterias *Alcaligenes faecalis*.

1.7 Objetivos específicos

1.7.1 Emplear la bacteria nitrificante-desnitrificante *A. faecalis* EBN-NS13 para el control en la producción de amoníaco (NH₃) en los galpones comerciales de producción de huevos de la Granja Cecilita ubicada en la parroquia Pinguilí, Tungurahua-Ecuador

1.7.2. Determinar los parámetros de amoníaco (PPM) con los que generalmente trabajan en la granja avícola donde se realiza el ensayo.

1.7.3. Determinar la dosis de *A. faecalis* EBN-NS13 por metro cuadrado con mejores resultados en la reducción de amoníaco (NH₃).

1.8 Hipótesis (de existir)

H₀: El uso de alternativas biológicas como la bacteria *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13 no son efectivas en la reducción de los niveles de amoníaco ambiental en el galpón de gallinas ponedoras de la Granja Cecilita ubicada en la parroquia Pinguilí, Tungurahua-Ecuador.

H₁: El uso de alternativas biológicas como la bacteria *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13 son altamente efectivas en la reducción de los niveles de amoníaco ambiental en el galpón de gallinas ponedoras de la Granja Cecilita ubicada en la parroquia Pinguilí, Tungurahua-Ecuador.

1.9 Declaración de las variables (operacionalización)

Variables independientes:

Aplicación de la bacteria *A. faecalis* EBN-NS13 para el control del amoníaco (NH₃).

Variables dependientes:

La concentración de gas amoníaco en el ambiente que se medirá en ppm.

1.10 Justificación

La avicultura se considera de relevancia en la economía del país y dentro del sector de producción avícola está la producción de huevos para consumo humano siendo la proteína muy exequible para el pueblo ecuatoriano con un consumo de 212 huevos por año/persona. Las granjas están distribuidas por todo el país, pero en la provincia de Tungurahua es donde se concentra el mayor número de producción por número de habitantes (CONAVE, 2022).

La actividad avícola en Ecuador desempeña un papel crucial en la economía, involucrando a más de 1 millón de personas y generando anualmente más de 800 millones de dólares entre carne de pollo y huevos. Estas cifras representan aproximadamente el 24% de la producción agropecuaria nacional, según datos reportados. Los huevos y la carne de pollo desempeñan un papel significativo en la nutrición de las personas, siendo no solo alimentos esenciales, sino también accesibles y de gran importancia en la dieta de los ecuatorianos (La Colina, 2022).

Hasta el año 2022 se contabilizaron 13.79 millones de gallinas ponedoras comerciales en producción (CONAVE, 2022). Por lo que la vigilancia sanitaria en este sector pecuario, así como el desarrollo de nuevas tecnologías en la prevención de enfermedades y mejoramiento en nutrición aviar es de suma importancia debido al volumen productivo de huevos del país.

Los sistemas convencionales para remover compuestos nitrogenados como son el uso de bacteria autotrófica, son difíciles de aplicar. El motivo está relacionado a que estas bacterias convencionales son susceptibles a altas concentraciones de radicales amonio y materia orgánica (Itokawa et al., 2001). En cambio, *A. faecalis* es alcalino tolerante y eficiente a altas concentraciones de materia orgánica, así como tiene actividad metabólica en bajas temperaturas (Zhang et al., 2022; 조정섭 et al.,).

Por lo que adaptar protocolos de eliminación de amoníaco en este piso climático andino, permite a que por adaptación *A. faecalis* sea eficiente en el tratamiento para mejorar la sanidad de los galpones de gallinas ponedoras. En consecuencia, se mejora la producción que resultan en beneficios monetarios para la región.

1.11 Alcance y limitaciones

1.11.1. Alcances

- **Contribución a la innovación tecnológica:** La investigación propuesta abre la puerta a la posibilidad de implementar tecnologías innovadoras en la gestión del estiércol avícola. La aplicación de *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13 como un agente de reducción efectivo de amoníaco podría representar una innovación en el campo de la gestión ambiental en la avicultura.

Con los resultados derivados de esta investigación, se espera determinar la dosis efectiva de *A. faecalis* en un conjunto discreto de datos, proporcionando (volumen de producto a base de *A. faecalis*, por metro cuadrado del lecho avícola). Así esta información es valiosa para la optimización de los tratamientos en la granja Cecilita. La capacidad de determinar la dosis más eficaz no solo implica un avance en términos de aplicación práctica, sino que también contribuye al conocimiento científico sobre la relación dosis-respuesta en la remoción de amoníaco en entornos avícolas.

Además de la dosis, la investigación permitirá un análisis detallado del comportamiento de la curva temporal de amoníaco en ppm bajo el tratamiento con las bacterias. Observar cómo varía la concentración de amoníaco a lo largo del tiempo ofrece perspectivas

valiosas sobre la eficacia a largo plazo de la aplicación de *A. faecalis*. Este enfoque temporal no solo proporciona una evaluación más integral de la eficiencia del tratamiento, sino que también puede revelar patrones o tendencias que podrían ser fundamentales para el diseño de estrategias de gestión a largo plazo.

- **Impacto en la sostenibilidad agropecuaria:** Al abordar las emisiones de gases de efecto invernadero, como el amoníaco, y la gestión sostenible del estiércol, la investigación podría tener un impacto positivo en la sostenibilidad de las prácticas agropecuarias. La adopción generalizada de enfoques similares podría contribuir a la mitigación de los impactos ambientales asociados con la producción intensiva de aves.
- **Implicaciones para la salud animal:** Además de los beneficios ambientales, la propuesta también tiene el potencial de mejorar la salud y bienestar de las aves en la granja Cecilita. La reducción de los niveles de amoníaco podría tener efectos positivos en el rendimiento de las aves, lo que podría traducirse en una mejora de la salud animal y, en última instancia, en la calidad de los productos avícolas.
- **Transferencia de conocimientos a la comunidad científica:** Si la investigación tiene éxito, los resultados podrían contribuir al conocimiento científico sobre la aplicación de bacterias en la reducción de contaminantes en el ambiente avícola. La publicación de estos hallazgos en revistas científicas especializadas podría beneficiar a la comunidad científica y fomentar investigaciones futuras en el campo.

Este estudio no solo marca un hito significativo en la provincia de Tungurahua al proporcionar los primeros datos sobre la remoción de NH_3 en galpones locales, sino que también representa el primer

estudio científico de la aplicación de *A. faecalis* en el país. Este aspecto no solo contribuye al avance de la investigación científica en Ecuador, sino que también posiciona a la granja Cecilita como pionera en la implementación de soluciones innovadoras para abordar los desafíos ambientales asociados con la producción avícola.

En resumen, esta investigación no solo busca abordar problemas prácticos en la granja Cecilita, sino que también tiene el potencial de enriquecer la comprensión científica de la gestión del amoníaco en entornos avícolas y establecer un precedente para futuras investigaciones y aplicaciones a nivel nacional.

1.11.2. Limitaciones

- **Variabilidad en las Condiciones Ambientales:** La variabilidad natural en las condiciones ambientales podría influir en los resultados de la investigación. Por ejemplo, las fluctuaciones estacionales pueden afectar la eficacia de la aplicación de *A. faecalis*, lo que podría limitar la capacidad de generalizar los resultados a lo largo del tiempo.

La cepa de *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13, al no haber sido aislada de los microbiomas de los ecosistemas ecuatorianos, puede que tenga problemas con la adaptación en esta zona climática. La tasa de remoción puede verse afectada debido a la aclimatación de las bacterias. Es decir, que las dosis y tiempos de aplicación que se recomienda por los proveedores pueden diferir con los parámetros reales que se tendrá en esta región.

Además, que no se tiene conocimientos claros o estudios previos del comportamiento de *A. faecalis* EBN-NS13 para remoción de amoníaco en granja de gallinas ponedoras. Motivos por los cuales se debe adaptar y desarrollar protocolos para la aplicación de esta bacteria en la granja Cecilita. Es así que en la reproducibilidad de los resultados se debe tomar en cuenta el nicho ecológico en donde se aplicará las bacterias.

- **Dificultades en la implementación a gran escala:** La aplicación de la solución propuesta puede encontrar desafíos cuando se escala a nivel industrial. Factores logísticos, costos y la adaptabilidad de la tecnología pueden ser obstáculos importantes para la implementación a gran escala en diversas granjas avícolas. Por lo que el estudio, se llevó a cabo escogiendo un (1) granja con seis (6) galpones, lo cual facilita el manejo en las aplicaciones y toma de datos.
- **Variabilidad en la composición del lecho en la avícola:** Aunque se espera que la aplicación de *A. faecalis* sea segura, siempre existe la posibilidad de efectos adversos sobre la composición del estiércol y la humedad. Por lo que estos dos parámetros son factores importantes a considerar. Es recomendable, concatenar los datos de salinidad, pH y relación C/N para determinar la dosis efectiva en la reducción de amoníaco ambiental. La investigación debe incluir un monitoreo continuo para identificar cualquier impacto negativo en la salud de las aves, en la calidad del estiércol o en el medio ambiente circundante.
- **Consideraciones éticas y de bienestar animal:** La aplicación de bacterias en el entorno avícola plantea cuestiones éticas y de bienestar animal que deben ser abordadas adecuadamente. Se deben establecer protocolos para garantizar que la investigación se lleve a cabo de manera ética y que se proteja el bienestar de las aves involucradas en el estudio.

- **Limitaciones en la generalización a otras granjas avícolas:**
Aunque se seleccionó la granja Cecilita como caso de estudio, la diversidad en las prácticas de manejo, infraestructuras y condiciones geográficas entre diferentes granjas avícolas podría limitar la generalización de los resultados a nivel nacional o internacional. Además, para la toma de datos no se realizaron repeticiones técnicas por lo que es recomendable replicar tomando en cuenta esta consideración.

En resumen, aunque la propuesta de tesis tiene el potencial de generar beneficios significativos en términos ambientales, económicos y de salud animal, es esencial abordar las limitaciones identificadas para garantizar la validez y aplicabilidad de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1 Antecedentes

No hay evidencia clara o aplicaciones ampliamente establecidas de *A. faecalis* específicamente en la reducción de amoníaco NH_3 en granjas de aves. De hecho, en Ecuador no existe investigaciones acerca del uso de este microorganismo en ningún área. Sin embargo, si se han identificado cepas de *A. faecalis* nativas de Ecuador, aisladas de aguas mineromedicinales de balnearios de la Provincia de Pichincha (Andueza Leal et al., 2023). Cabe destacar que es importante tener en cuenta que la investigación en biotecnología y microbiología ambiental está en constante evolución, y puede haber avances o nuevas aplicaciones con base en investigaciones.

En los últimos años ha crecido el interés por aplicar cepas de *A. faecalis* para remover compuestos nitrogenados en plantas de tratamientos de agua y aguas residuales de actividades productivas (Lee & Joo, 2023; Rashid et al., 2021; Tsujino et al., 2021; Xu et al., 2022; Zhang et al., 2022), especialmente los derivados de la porcicultura (Joo et al., 2006). La bacteria *A. faecalis* tiene alto potencial en la remoción de amoníaco de sistemas con elevados niveles de este compuesto, además que es una bacteria alcalino tolerante y tiene actividad a altas concentraciones de salinidad (Joo et al., 2005, 2006).

El porcentaje de remoción de nitrógeno en el amoníaco es alto llegando a alcanzar porcentajes de 94.60% (Zhang et al., 2022). De hecho, la cepa *A. faecalis* EBN-NS13 empleada en esta investigación ha alcanzado un porcentaje de remoción del 99%. En esta cepa se han patentado las siguientes funciones: a) Capacidad de eliminación de amoníaco: excelente capacidad de eliminación de amoníaco (99% o más) sin afección por la temperatura. b) Capacidad nitrificante y desnitrificante: excelente capacidad

nitrificante y desnitrificante independiente de la temperatura, salinidad, pH, baja temperatura y concentración de amonio NH_4^+ (조정섭 et al., 2014).

2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación

2.2.1. Betaproteobacterias

Las proteobacterias son un grupo diverso y ampliamente destruidos en la naturaleza. Su diversidad funcional y su presencia en diversos hábitats las convierte en potenciales sistemas biotecnológicos. Su etimología radica en el Dios Griego Proteus, el cual, asume diferentes formas. Todas las proteobacterias son Gram negativas, que se caracterizan por tener una membrana externa de lipopolisacáridos (Mukhopadhy et al., 2012). Este filo se divide en seis clases: Alfabroteobacteria, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria, Deltaproteobacteria, Epsilonproteobacteria y Zetaproteobacteria. Cabe destacar para esta investigación, a las betaproteobacterias.

Este grupo contiene bacterias saprofitas que pueden degradar compuestos orgánicos y compuestos involucrados en el ciclo del nitrógeno (Prosser, 2007; Tan & Parales, 2019). Sin embargo, algunas betaproteobacterias puede ser patógenas oportunistas, llegando a enfermar a plantas y animales (Parker et al., 2009). Las betaproteobacterias comprenden un grupo de bacterias aerobias y facultativas que están estrechamente relacionadas con el ciclo del nitrógeno, destacándose su participación en la fijación del nitrógeno en el suelo (Garrity et al., 2005).

2.2.2. Alcaligenes faecalis

A. faecalis es una Betaproteobacteria, Gram negativa, con motilidad y puede presentarse en varias formas como cocobacilos o bacilos. Es una especie quimio-organotrófica y puede utilizar una amplia variedad de fuentes de carbono para su crecimiento (Tsujino et al., 2021). Además, *A. faecalis* habita comúnmente en ambientes acuáticos y suelos. Sin embargo, también

se han aislado cepas en entornos asociados a actividades humanas (Batt, 2014).

Para esta investigación se utilizó una cepa comercial, registrada por EcoBizNet Inc., denominada *A. faecalis* EBN-NS13 (KCTC 12471BP), la cuál ha sido depositada en el Instituto Coreano de Investigación en Biociencia y Biotecnología. Esta cepa fue aislada de una planta de tratamiento de aguas residuales (조정섭 et al., 2014). El metabolismo de esta bacteria comprende la respiración aerobia estricta, y no es fermentativa. Además, tiene rutas metabólicas que le confieren la característica de ser nitrificante y desnitrificante simultáneamente (Zhang et al., 2022; 조정섭 et al., 2014).

Ciertas cepas de *A. faecalis* demuestran una notable capacidad para transformar la urea en amonio, además de tener la capacidad de metabolizar compuestos fosforados (Jia et al., 2022). Esto hace que estas cepas sean particularmente prometedoras en la reducción de fósforo en aguas residuales (Wang et al., 2020). El fósforo presente en el estiércol, en su mayoría inorgánico (en un rango del 32% al 84%), plantea desafíos ambientales significativos. Al utilizar estiércol sin tratar como fertilizante, no se logra la absorción eficiente de las altas concentraciones de fósforo presentes en el estiércol de aves. Como resultado, el exceso de fósforo tiende a acumularse en el suelo y, con el tiempo, puede filtrarse hacia las aguas subterráneas (Kacprzak et al., 2023; Topcu et al., 2022). La capacidad de ciertas cepas de *A. faecalis* para abordar este problema al convertir la urea en amonio y metabolizar compuestos fosforados sugiere una vía prometedora para mitigar la acumulación de fósforo, eutrofización de aguas y reducir su impacto ambiental asociado.

Además, este microorganismo tiene varias aplicaciones prometedoras las cuales se han ido desarrollando en los últimos años, dentro de estas tenemos las siguientes:

Biorremediación: *A. faecalis* ha mostrado habilidades de biorremediación, lo que significa que puede descomponer y eliminar contaminantes en el medio ambiente. La bacteria puede ser utilizada para degradar compuestos tóxicos como hidrocarburos (Tan & Parales, 2019; Viñas Canals, 2005) y otros contaminantes industriales como el arsénico (Rodríguez Martínez et al., 2017), antraceno (Chakravarty et al., 2023), coliformes (Loiko et al., 2023), entre otros.

Producción de enzimas y metabolitos: Algunas cepas de *A. faecalis* tienen la capacidad de producir enzimas útiles en aplicaciones industriales. La fibrinolisisina aislada de bacterias ambientales es una alternativa a la producción de fármacos fibrinolíticos, los cuales son difíciles de producción a nivel industrial (Nikkhoy & Motamedi, 2019). También para la generación de azoreductasa que se usa para la decoloración de colorantes tipo azo (Basharat & Yasmin, 2022). Asimismo, se han identificado cepas de *A. faecalis* que producen metabolitos de interés industrial como la vainillina, el cual es la responsable del aroma y sabor en los extractos de vainilla (Mazhar et al., 2023). Por otro lado, las enzimas de *A. faecalis* en general pueden ser utilizadas en procesos biotecnológicos, como la producción de productos químicos y la mejora de la eficiencia de ciertos procesos.

Síntesis de polímeros biodegradables: Se ha estudiado el potencial de *A. faecalis* en la síntesis de polímeros biodegradables como el poli- β -hidroxibutirato (Jain et al., 2020; Sayyed & Chincholkar, 2005; Sayyed et al., 2021). Esta característica podría ser útil en la producción de materiales plásticos que son más respetuosos con el medio ambiente.

Fijación de nitrógeno: Algunas cepas de esta bacteria tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, convirtiéndolo en una forma que las plantas pueden utilizar (Jia et al., 2022). Esto puede ser beneficioso en la agricultura, ya que podría reducir la necesidad de fertilizantes nitrogenados sintéticos.

Investigación científica: *A. faecalis* también se utiliza en estudios científicos básicos para comprender mejor la biología bacteriana y sus aplicaciones potenciales. La investigación continua puede revelar nuevas características y aplicaciones para esta bacteria (Tsujino et al., 2021).

Es importante destacar que, aunque *A. faecalis* muestra estas propiedades potenciales, su aplicación práctica puede variar según la cepa específica y las condiciones del entorno. Además, el uso de microorganismos en aplicaciones industriales o ambientales está sujeto a regulaciones y consideraciones éticas. Sin embargo, el arsenal metabólico de *A. faecalis* es sorprendente, ya que está implicada en varias etapas del ciclo del nitrógeno. Es decir, puede convertir desde la urea en amonio, y luego pasar a nitratos y nitritos para finalmente liberar el nitrógeno a la atmósfera en forma de N_2 .

2.2.3. Ciclo del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno es un proceso biogeoquímico esencial en el que el nitrógeno se mueve a través de diferentes formas químicas y estados en el medio ambiente. El nitrógeno (N_2) es el elemento más abundante en la atmósfera aproximadamente el 78% y es esencial para la vida. Se lo requiere para la formación de proteínas y en la síntesis de ácidos nucleicos por lo que es fundamental para el crecimiento de los seres vivos (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2024). Sin embargo, el N_2 atmosférico no es asimilable por la mayoría de los seres vivos. Este ciclo comprende varias etapas en las cuales los microorganismos son omnipresentes y de gran importancia para que se lleven a cabo estas reacciones biogeoquímicas.

Fijación del nitrógeno: El ciclo empieza con la fijación de nitrógeno atmosférico el cuál es abundante en la atmósfera. Esto puede ser fijado por la acción de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) o por procesos industriales (como la fabricación de fertilizantes). Las BFN o también llamados diazotrofos son las encargadas de captar el N_2 del aire y metabolizarlo en amonio que se captarán en los suelos o por las raíces de plantas. Las BFN pueden presentarse como microorganismos de vida libre

o en simbiosis con plantas, especialmente con leguminosas. Los compuestos producidos en la fijación del nitrógeno son asimilados por las raíces de las plantas, y como recompensa las plantas dotan a los BFN de energía proveniente de la fotosíntesis (Aczel, 2019). Algunos ejemplos de BFN simbióticas son *Anabaena*, *Frankia*, *Azotobacter*, *Cyanobacteria*, *Pseudomonas* y *Azospirillum*, pero la asociación más importante a nivel ecológico así como para las actividades humanas son la simbiosis entre leguminosas y las bacterias *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* (Orr et al., 2011; Wagner, 2011).

Amonificación: Después de la fijación, el nitrógeno se convierte en amoníaco (NH_3) y amonio (NH_4^+) a través de la amonificación. Esto es metabolizado por bacterias de vida libre como *Bacillus* y *Clostridium*. No obstante, el amonio y amoniaco también pueden producirse a partir de los desechos nitrogenados y los restos orgánicos (como proteínas, aminoácidos, urea entre otros) que son descompuestos por bacterias y hongos (Aczel, 2019). Es en esta etapa del ciclo del nitrógeno es donde toma relevancia esta investigación.

La amonificación cuando ocurre en ambientes acuáticos es por descomposición de residuos orgánicos, en especial de plantas y animales, se descomponen y liberan amonio NH_4^+ . Por otro lado, la amonificación también ocurre en instalaciones de cría intensiva, como granjas avícolas o de ganado. La amonificación puede ser un problema significativo porque las deposiciones animales y los residuos orgánicos pueden conducir a la liberación de amoníaco. Lo que puede afectar la calidad del aire y tener consecuencias negativas para la salud animal y humana. Es importante gestionar la amonificación de manera adecuada, especialmente en entornos productivos para minimizar los impactos negativos en la calidad del suelo, agua y el aire. Así tenemos que, *A. faecalis* por su tasa remoción de amonios para convertirlos en nitritos puede ser una solución en el control de este paso del ciclo del nitrógeno (Swelum et al., 2021; 조정섭 et al., 2014).

Nitrificación: En esta etapa las bacterias nitrificantes convierten el amoníaco y el amonio en nitritos (NO_2^-) y luego en nitratos (NO_3^-). Estos nitratos son formas más solubles y disponibles para las plantas. La primera parte de la nitrificación en la que se convierte $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ a nitritos NO_2^- se lleva a cabo por bacterias como las *Nitrosomonas*. Mientras que, en la segunda parte en la que se convierte NO_2^- a NO_3^- , se lleva a cabo por las bacterias del género *Nitrobacter*. Sin embargo, en la naturaleza existen bacterias que pueden tener estas dos funciones en su metabolismo. Es decir, pueden convertir los amonios hasta nitratos utilizando un solo microorganismo, un claro ejemplo es *A. faecalis* (Zhang et al., 2022; 조정섭 et al., 2014).

La importancia de la nitrificación radica en que estas formas de compuestos nitrogenados, producidos en esta etapa del ciclo del nitrógeno, son más asimilables por las plantas. Por lo que tiene un impacto en la agricultura y ecosistemas. Además, la remoción de amonios en aguas con alta carga de estos compuestos es de suma importancia para el control sanitario por lo que la nitrificación ayuda con esta problemática. Es aquí también, que *A. faecalis* es crucial para gestionar los ciclos de nutrientes en los ecosistemas, optimizar la producción agrícola, ganadera, avícola y claramente para mitigar los impactos ambientales asociados al exceso de amonios en el agua, aire y el suelo (Joo et al., 2006).

Asimilación: Las plantas y otros organismos pueden absorber los nitratos presentes en el suelo y utilizarlos para sintetizar proteínas y otras moléculas nitrogenadas. Esta etapa es de suma importancia en la agricultura, ya que es esencial para la nutrición de las plantas, las cuales fundamentalmente forman parte en la dieta alimenticia de los seres humanos y animales de producción (Masclaux-Daubresse et al., 2010).

Desnitrificación: La desnitrificación es el proceso mediante el cual ciertos tipos de bacterias convierten los nitratos de nuevo en nitrógeno gaseoso (N_2), cerrando así el ciclo. Esto ocurre en condiciones anaeróbicas (sin

oxígeno). El nitrógeno puede volver a la atmósfera en forma de gas durante la desnitrificación, completando así el ciclo y permitiendo que el nitrógeno esté disponible nuevamente para la fijación (Bernhard, 2010). Ventajosamente, *A. faecalis* es una bacteria metabólicamente presente en esta parte del ciclo, ya que puede transformar los nitratos a nitrógeno gas (Zhang et al., 2022; 조정섭 et al., 2014).

Descomposición: la descomposición de la materia orgánica, como plantas y animales muertos, así como sus desechos también libera nitrógeno en forma de amoníaco y otros compuestos nitrogenados. Es aquí donde grandes cantidades de estos compuestos derivados de sistemas productivos pueden ocasionar daños ambientales y la salud (Bernhard, 2010).

Este ciclo del nitrógeno es esencial para mantener la disponibilidad de nitrógeno en los ecosistemas naturales y es crucial para el crecimiento y desarrollo de los organismos vivos. Sin embargo, las actividades humanas, como la agricultura o avicultura intensiva y el uso excesivo de fertilizantes, pueden perturbar el equilibrio natural del ciclo del nitrógeno, contribuyendo a problemas como la contaminación del agua y la emisión de gases de efecto invernadero. El amoníaco es de los compuestos más contaminantes que están involucrados en el ciclo del nitrógeno y del cual esta investigación va enfocada.

2.2.4. Amoniaco

El amoniaco es un compuesto químico que se forma por la combinación de nitrógeno e hidrógeno, representado por la fórmula NH_3 . Es un gas incoloro con un característico olor picante, y su presencia es común en la naturaleza, especialmente en procesos biológicos y ciclos geoquímicos. Aunque es más conocido en su forma gaseosa (NH_3), el amoniaco también puede encontrarse en soluciones acuosas, donde se presenta como ion amonio (NH_4^+) (United States Environmental Protection Agency EPA, 2024).

El amonio desempeña un papel crucial en la naturaleza y en numerosos procesos industriales. En la agricultura, se utiliza como fuente de nitrógeno para las plantas, ya que los organismos vivos no pueden absorber directamente el nitrógeno atmosférico. Además, el amonio es un componente esencial en la formación de aminoácidos y proteínas, fundamentales para la estructura y función de los seres vivos (Wergedal et al., 1964).

En la industria, el amonio se emplea en la fabricación de fertilizantes, productos de limpieza y en la síntesis de diversos compuestos químicos. Su versatilidad y capacidad para formar compuestos con otros elementos hacen que el amonio sea valioso en diversas aplicaciones (Egenhofer et al., 2014).

Es importante tener en cuenta que, si bien el amonio es beneficioso en muchas situaciones, su manejo debe realizarse con precaución, ya que en concentraciones elevadas puede ser tóxico para los seres humanos y otros organismos (Esteban et al., 2016; Padappayil & Borger, 2023). Así como forma parte de los gases de efecto invernadero, por lo que contribuye al cambio climático si se libera al ambiente a gran escala. La comprensión de las propiedades y usos del amonio es esencial para garantizar su utilización de manera segura y eficiente en diversos contextos.

En el contexto de la avicultura, la producción de gas amoníaco resulta de la descomposición del ácido úrico por bacterias que tienden a proliferar en el lecho húmedo de las aves. Durante la estación donde se reduce la ventilación para conservar el calor, es común que la humedad en el lecho alcance niveles elevados (Naseem & King, 2018). En estas condiciones, se pueden alcanzar concentraciones significativas de amoníaco, con valores entre 25 y 30 partes por millón (ppm), lo cual puede ocasionar daños en el sistema mucociliar del tracto respiratorio superior. En situaciones más críticas, con niveles más elevados (entre 50 y 75 ppm), se puede experimentar una reducción en la ingesta de alimentos y ocasionar

quemaduras cáusticas en la córnea, incluso llegando a provocar ceguera (Kristensen & Wathes, 2019). Este problema afecta la capacidad de las aves para encontrar adecuadamente alimentos y agua, conduciendo en muchos casos a la mortalidad (Aiello et al., 2016).

2.2.5. Gallinas

La gallina moderna (*Gallus gallus domesticus*) criada para la producción de huevos de mesa y carne, se originó durante la Primera Revolución Agrícola y mediante estudios genómicos se ha confirmado que es descendiente del gallo de la jungla roja de manera monofilética (Siegel et al., 2022). La gallina moderna ha sido sometida a una intensa selección genética para diversos rasgos económicamente importantes como la producción de huevos/carne, eficiencia en la conversión de alimentos y capacidad de supervivencia. Las gallinas ponedoras son aquellas criadas específicamente para la producción de huevos. Estas aves han sido seleccionadas y criadas para maximizar la cantidad y calidad de los huevos que ponen (Ramachandran, 2018).

De manera similar a los mamíferos, el sistema reproductivo de las gallinas se encuentra dirigido por hormonas segregadas por el hipotálamo, la glándula pituitaria y el ovario en respuesta a diversos estímulos tanto externos como internos (Ramachandran, 2018; Shini et al., 2008). El ciclo de producción de huevos de una gallina ponedora se inicia cuando alcanza la madurez sexual, generalmente alrededor de las 18-20 semanas de edad. Durante este ciclo, la gallina pone huevos de manera regular, con un pico de producción que suele ocurrir en los primeros meses después de comenzar a poner. Las gallinas ponedoras son altamente productivas en la puesta de huevos, generando entre 280 y 300 huevos a lo largo de un periodo de 52 semanas (Ramachandran, 2018).

2.2.6. Producción avícola en Ecuador

En el contexto de Ecuador, la avicultura desempeña un papel crucial en la industria agropecuaria, contribuyendo de manera significativa a la seguridad

alimentaria del país. Esta industria abarca tanto la producción de aves de corral destinadas a la carne como aquellas destinadas a la producción de huevos. En particular, la cría de gallinas ponedoras para la obtención de huevo es una actividad esencial en la avicultura ecuatoriana (AviNews, 2023).

En Ecuador, hay operan alrededor de 1.819 granjas avícolas en todo el territorio nacional. La avicultura se destaca como un sector económicamente sólido, proporcionando alrededor de 32.000 empleos directos, 220.000 empleos indirectos y contribuyendo con aproximadamente 2000 millones de dólares anuales. Esto representa el 16% del Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario y el 2% del PIB total del país (Mero Chávez et al., 2022).

Con un enfoque especial en la producción de huevos, las granjas avícolas en Ecuador emplean sistemas modernos de manejo para asegurar la calidad y la seguridad de los productos. Este sector no solo satisface la demanda interna de huevos, sino que también desempeña un papel en la exportación de productos avícolas (Escobar Veloz, 2012).

A pesar de su importancia, la industria avícola en Ecuador enfrenta diversos desafíos, incluyendo la presencia de enfermedades aviarias, fluctuaciones, en los precios de los insumos, mal manejo de amoniaco, y las condiciones climáticas cambiantes. Estos factores pueden afectar la productividad y la rentabilidad de las granjas avícolas (Lizarzaburo & Angulo, 2020). En la actualidad la producción nacional, aún no ha superado los niveles prepandemia, por lo que esto refleja lo frágil que puede ser el sector productivo, sí no se tienen estrategias de tecnologías emergentes (Cruz, 2023). Sin embargo, también se presentan oportunidades de crecimiento y desarrollo tecnológico, lo que podría impulsar la eficiencia en la producción, la mejora de las condiciones de crianza y la implementación de prácticas más sostenibles.

2.2.7. Enfermedades respiratorias en aves por amoníaco

La exposición crónica a niveles elevados de amoníaco en el ambiente puede tener efectos perjudiciales en la salud de las aves y contribuir a problemas de salud. El amoníaco irrita las vías respiratorias de las aves. La inhalación continua puede llevar a la inflamación de las membranas mucosas del sistema respiratorio, causando dificultades respiratorias y aumentando la susceptibilidad a infecciones respiratorias (>25 ppm), así como suprimir el sistema inmunológico de las aves, haciéndolas más susceptibles a enfermedades infecciosas en general (Kristensen & Wathes, 2019). Además, puede afectar negativamente el peso corporal de las aves y pueden provocar irritación y daño en los ojos de las aves, manifestándose en enrojecimiento, lagrimeo y posiblemente lesiones oculares si se exponen a altos niveles de amoníaco (>50 ppm) (Aiello et al., 2016).

2.2.8. Reducción de amoníaco en granja de aves

En los galpones, la formación de amoníaco ocurre a través de la descomposición química y microbiana del ácido úrico excretado por las aves. Los iones de amonio (NH_4^+) generados se transforman en amoníaco (NH_3) volátil, especialmente cuando existen condiciones alcalinas, altas temperaturas, mayor humedad y una concentración más elevada de NH_4^+ (Bailey et al., 2021). La reducción del amoníaco en granjas de pollos generalmente se aborda mediante la gestión adecuada del estiércol y la mejora de las condiciones ambientales. La producción de amoníaco está directamente relacionada con la descomposición del estiércol, y las prácticas que minimizan la acumulación y la descomposición del estiércol tienden a reducir las emisiones de amoníaco.

Algunas prácticas comunes para reducir las emisiones de amoníaco en granjas de pollos incluyen las descritas en Manogaran et al., (2022); Merchán Vélez & Quezada Urgilés (2013) y Valencia Pinzón et al., (2024):

a) Buena Ventilación: Una ventilación adecuada en las instalaciones puede ayudar a dispersar los gases, incluido el amoníaco. **b) Manejo Eficiente del Estiércol:** Recoger y eliminar regularmente el estiércol de las instalaciones ayuda a reducir la acumulación y descomposición, disminuyendo así las emisiones de amoníaco. **c) Uso de Materiales Absorbentes:** El uso de materiales absorbentes, como virutas de madera o paja, en el suelo de las instalaciones puede ayudar a absorber el amoníaco y reducir su liberación al ambiente. **d) Tratamientos con Aditivos:** Algunos aditivos específicos se han utilizado para tratar el estiércol y reducir las emisiones de amoníaco. Estos aditivos pueden incluir productos que promueven la actividad de microorganismos beneficiosos para la descomposición del estiércol.

En este contexto, la aplicación de *Alcaligenes faecalis* para reducir los niveles de amoníaco en una granja de gallinas ponedoras en la parroquia de Pinguilli, Ecuador, emerge como una estrategia relevante. Este enfoque no solo busca abordar los desafíos específicos asociados a la presencia elevada de amoníaco, sino también contribuir al bienestar de las aves, la calidad de los productos y, en última instancia, al fortalecimiento de la industria avícola en el país. Durante el período de un mes, se llevarán a cabo mediciones diarias para evaluar la eficacia de este tratamiento y su impacto en la salud avícola y la producción de huevos.

2.2.9. Biotecnología microbiana

La microbiología aplicada se enfoca en la aplicación de los principios y técnicas de la microbiología para resolver problemas prácticos en diversas áreas. Esta disciplina utiliza los conocimientos sobre microorganismos, como bacterias, virus, hongos y protozoos, para abordar cuestiones relacionadas con la salud humana, la agricultura, la avicultura, la industria, el medio ambiente y otros campos. Algunos conceptos biotecnológicos de gran utilidad y que se utilizan para el control de amoníaco en granjas de aves con base en microbiología son:

Biotecnología: La biotecnología hace un amplio uso de la microbiología aplicada para el desarrollo de productos y procesos. Esto puede incluir la ingeniería genética o selección de cepas de elite de microorganismos para la producción de bioproductos (Cuadrado-Osorio et al., 2022).

Microbiología industrial: La microbiología industrial se centra en el uso de microorganismos para la producción de productos útiles a escala industrial (Najafpour, 2015).

Tratamiento de aguas residuales: La microbiología aplicada desempeña un papel crucial en el tratamiento de aguas residuales. Se utilizan microorganismos para descomponer materia orgánica y nutrientes, purificando así el agua antes de su liberación al medio ambiente (Joo et al., 2006).

Microbiología Ambiental: La microbiología ambiental se ocupa del estudio de los microorganismos en entornos naturales y su papel en procesos ecológicos. Esto incluye la descomposición de materia orgánica, la fijación de nitrógeno y la degradación de contaminantes.

Control de contaminantes: La microbiología aplicada se utiliza para desarrollar estrategias de control de contaminantes en diversos entornos. Esto incluye la biorremediación, donde microorganismos se utilizan para degradar contaminantes en suelos y aguas subterráneas (Swelum et al., 2021).

Seguridad Alimentaria: En la industria alimentaria, la microbiología aplicada se emplea para garantizar la seguridad de los alimentos, incluyendo la detección de patógenos, la conservación de alimentos y mejoras en la nutrición (Wang et al., 2020).

La microbiología aplicada es una disciplina dinámica que juega un papel fundamental en la mejora de la calidad de vida, la sostenibilidad y la resolución de problemas en diversos campos. Los avances en esta área

continúan contribuyendo al desarrollo de tecnologías innovadoras y soluciones prácticas.

2.2.10. Biotecnología sanitaria

La vigilancia sanitaria y la biotecnología son dos áreas interrelacionadas que juegan un papel crucial en la protección de la salud pública tanto de seres humanos como de otros organismos. Evaluar y controlar los factores de riesgo como exposición a contaminantes que pueden afectar la salud de la población, como la seguridad de los alimentos, la calidad del agua y el medio ambiente (Ranz et al., 2014).

El manejo sanitario adecuado es esencial para prevenir enfermedades y garantizar la salud de las gallinas ponedoras. Esto incluye prácticas de bioseguridad, vacunación y control de parásitos. Así como mitigar los efectos de los desechos ya que estos han llegado a ser de interés ambiental, por el volumen que se producen a grandes escalas. El tratamiento del amoníaco producido por la fermentación de los estiércoles de las aves es de suma importancia tanto para combatir la contaminación ambiental como para mejorar la salud de los organismos que se ven expuestos al NH_3 .

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

3.1 Tipo y diseño de investigación

Este estudio de tesis se basa en una investigación aplicada en campo. Se ha utilizado productos biotecnológicos comerciales para mejorar una afección a nivel industrial. La premisa fundamental que sugirió este estudio fue la suposición de que la función nitrificante/desnitrificante de la bacteria *A. faecalis* se confirmaría en un nuevo nicho ecológico. Esta suposición es crucial, ya que estableció la base conceptual para el diseño experimental y las expectativas asociadas con los resultados esperados.

El diseño experimental se desarrolló en conformidad con las recomendaciones proporcionadas por los proveedores de la bacteria *A. faecalis*. Estas recomendaciones ofrecieron pautas importantes para optimizar las condiciones de cultivo y maximizar la eficacia de las funciones biotecnológicas de la bacteria en el nuevo entorno ecológico propuesto.

3.2 La población y la muestra

3.2.1 Características de la población

En la granja Cecilita, lugar de muestreo para este estudio, habitaban gallinas ponedoras de la línea Lohmann. La granja mantenía una significativa producción avícola, con galpones que albergaban un promedio aproximado de 18 mil aves por galpón. La edad media de las aves era de 45 semanas al momento de empezar las pruebas de aplicación de las bacterias. Esta cantidad considerable de gallinas ponedoras sugiere un entorno de producción avícola a gran escala, indicativo de una operación avícola bien establecida.

Las gallinas ponedoras, pertenecientes a la línea Lohmann, son conocidas por su eficiencia en la producción de huevos. La elección de esta línea específica puede tener implicaciones importantes en la investigación, ya que diferentes líneas genéticas de aves pueden responder de manera distinta a

condiciones ambientales, dietas y otros factores que podrían influir en los parámetros de interés para el estudio.

La dieta de las aves y las condiciones ambientales están estrechamente relacionada con la composición del estiércol el cuál es causante de la generación del gas amoniaco en el ambiente. No se pudo cuantificar la composición del lecho, sin embargo, se pudo observar ciertos datos cualitativamente. El lecho conformado principalmente por estiércol mantuvo una humedad alta observada *in situ* (no cuantificada). Por lo que era altamente probable encontrar altos niveles de amoniaco.

Como datos ambientales, se midió la humedad relativa del aire, la cual fue de 54% y la temperatura media de los galpones fue de 22.4 °C.

3.2.2 Delimitación de la población

Los ensayos de aplicación de *A. faecalis* EBN-NS13 (KCTC 12471BP) se llevaron a cabo en la granja Cecilita, la cual está ubicada en Ecuador, provincia de Tungurahua, cantón Mocha, parroquia Pinguilí y con las siguientes coordenadas geográficas 1°25'49.2"S 78°30'42.2"O.

El área total donde se aplicó las bacterias *A. faecalis* fue de 11 112 metro cuadrados. Las divisiones de las áreas por galpones se pueden observar en la **Figura 1**. Se trató los lechos avícolas conformados principalmente por estiércol derivado de la producción de aproximadamente 160 000 gallinas de la granja Cecilita.

Los parámetros medidos fueron la concentración de amoniaco en ppm. Esta concentración dependía del tiempo y las dosis aplicadas. No se logró cuantificar la salinidad, pH y relación C/N del lecho avícola.

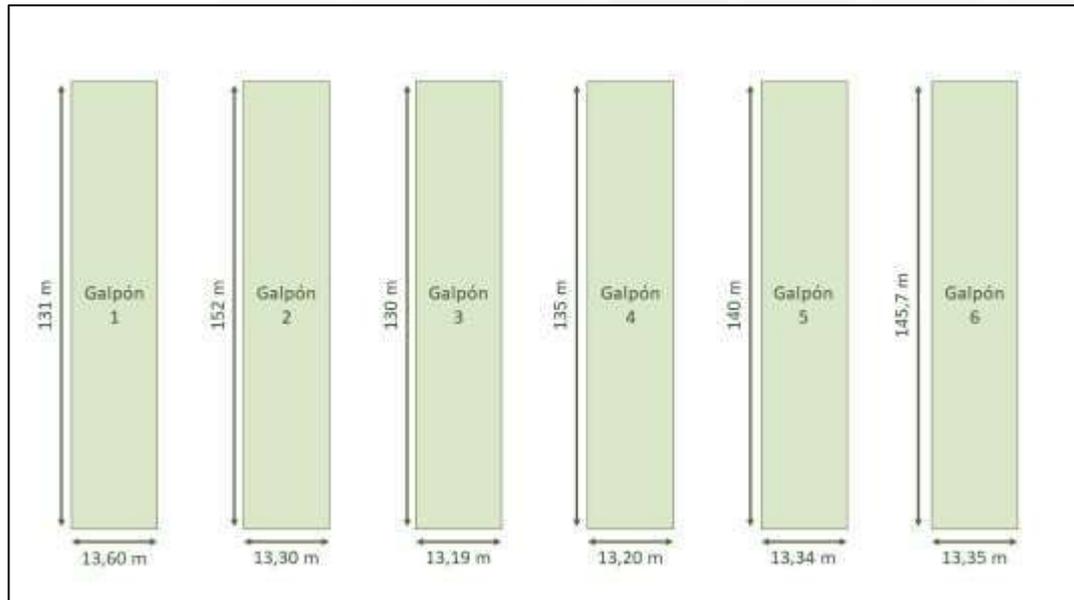


Figura 1. Áreas de galpones donde se llevaron a cabo los ensayos de aplicación de *A. faecalis* para reducir el amoníaco ambiental.

3.2.3 Tipo de muestra

Las muestras analizadas consistían en muestras gaseosas extraídas del aire dentro de los galpones, donde se había acumulado gas amoníaco ambiental. La presencia de este gas en el aire era el resultado de la actividad microbiológica que se producía en los seis galpones de la granja Cecilita, donde el gas amoníaco era liberado desde el lecho avícola.

3.2.4 Tamaño de la muestra

Diariamente se tenían 18 datos de concentración de amoníaco ambiental, en los seis galpones y en triplicado. Se tomó datos previos a la aplicación de las bacterias. El tiempo del estudio duró un mes aproximadamente (34 días), por lo que en total se alcanzó a obtener 630 valores de concentración de amoníaco ambiental.

Datos totales = 6 galpones (tratamientos) X 3 repeticiones X (34 días tratamiento + día 0)

3.2.5 Proceso de selección de la muestra

Las muestras gaseosas fueron tomadas del aire dentro de los seis galpones muede la granja Cecilita. En cada galpón se decidió medir la concentración

de amoníaco en tres puntos estratégicos los cuales fueron: uno (1) al inicio del pasillo, uno (1) al medio del pasillo y uno (1) al final del pasillo. Estos datos fueron denominados datos por triplicada para cada galpón. Cabe recalcar que los datos de amoníaco derivaron de la producción de 160 000 aves entre los meses de agosto y septiembre del 2023. Además, los datos se generaron para cada dosis y con una frecuencia diaria. La hora de la medición de amoníaco (de 12:00 a 13:00) se mantuvo igual durante todo el estudio.

Además, se tomó valores iniciales en cada galpón y también un galpón como control negativo (galpón 6), es decir no se aplicó *A. faecalis*. A cada galpón se le asignó una dosis diferente, denominándolos tratamientos. Las dosis aplicadas fueron: 500 ml bacteria *A. faecalis* por 330 m² (galpón 1), 1000 ml bacteria *A. faecalis* por 330 m² (galpón 2), 1 500ml bacteria *A. faecalis* por 330 m² (galpón 3) y 2000ml bacteria *A. faecalis* por 330 m² (galpón 4) y 2500ml bacteria *A. faecalis* por 330 m² (galpón 5).

3.3 Los métodos y las técnicas

3.3.1 Medición de amoníaco (NH₃)

Para la medición del gas amoníaco en el ambiente, se implementó un enfoque preciso y eficiente utilizando un detector de gas amoníaco digital de la marca WapoRich, específicamente el modelo RQ-5800G. Este dispositivo se fundamenta en el principio de electroquímica para llevar a cabo mediciones confiables y sensibles de la concentración de amoníaco en el aire circundante.

Uno de los aspectos más destacados de los sensores de gas electroquímicos es su eficiencia en términos de consumo de energía. Estos dispositivos son conocidos por requerir cantidades relativamente bajas de energía para operar, lo cual es esencial para su desempeño en entornos donde la eficiencia energética es una consideración crucial. Esta característica, junto con su diseño compacto y portátil, hace que los sensores basados en electroquímica sean ideales para aplicaciones

en las que la movilidad y la autonomía energética son factores determinantes. Es decir, mediciones en campo.

La amplia adopción de sensores de gas electroquímicos se evidencia en la literatura científica, donde se han documentado casos exitosos de implementación en diversas disciplinas. Investigaciones recientes, como las de Kwak et al. (2019), Oudenhoven et al. (2015), y Timmer et al. (2005), respaldan la eficacia de estos sensores en términos de sensibilidad y rentabilidad, consolidando así su posición como una tecnología confiable para la medición de gases en el ambiente.

3.3.2 Aplicación de la bacteria *A. faecalis* EBN-NS13 (KCTC 12471BP)

Para la aplicación de la bacteria *A. faecalis* EBN-NS13 (KCTC 12471BP) y ejecución del ensayo se lo realizó mediante la técnica de fumigación, con una bomba a motor de mochila, por todos los beneficios que encontramos con este equipo, desde sus innovadoras características y su diseño ergonómico que hacen el trabajo de aplicación más fácil y cómodo para los operarios.

La utilización de estos equipos es común en las granjas avícolas ya que se emplean para varias labores de bioseguridad establecidas en el plan de manejo de cada una de ellas, se debe indicar que el motor de dicha bomba es un motor de dos tiempos de alto rendimiento, que cuenta con una bomba de pistón de doble acción y una cámara de compensación para un rociado estable, controlado y siempre uniforme, que es lo que se busca al momento de aplicar la bacteria *A. faecalis* EBN-NS13 (KCTC 12471BP). Se procede a la ejecución del ensayo, añadiendo las dosis indicadas de acuerdo a cada tratamiento establecido, es decir se usa 20 litros de agua pura, se añade la dosis indicada para cada galpón, siendo estas dosis: 0ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #1 (T0, tratamiento testigo) cabe indicar que no se fumiga nada, 500 ml bacteria *A. faecalis* en el galpón #2 (T1, tratamiento 1), 1000 ml bacteria *A. faecalis* en el Galpón #3 (T2, tratamiento 2), 1500ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #4 (T3, tratamiento 3), 2000ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #5 (T4, tratamiento 4) y 2500ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #6 (T5, tratamiento 5). El área que se logra cubrir con cada

aplicación es de 330m², con las aplicaciones realizadas solo esperamos la toma de los datos para revisar los resultados obtenidos.

3.4 Procesamiento estadístico de la información.

Se tomaron los 630 valores obtenidos y se crearon tablas dinámicas mediante el uso de la Hoja de Cálculo de Excel. Se calculó el promedio de los tres valores de concentración de gas amoníaco obtenidos para cada galpón. Luego, se determinó la concentración promedio diaria utilizando los valores promedio de los seis galpones. Posteriormente, se procedió a representar gráficamente los promedios diarios de concentración de amoníaco, organizados por tratamiento a lo largo del tiempo. Finalmente, se modeló la tendencia de los puntos graficados utilizando las herramientas estadísticas disponibles en Excel. Además, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), mediante el método de Tukey se ejecutó comparaciones múltiples entre los tratamientos.

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1 Análisis de los resultados

Se debe indicar que no se aprecia una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos aplicados a lo largo del período de estudio, es decir que todas las dosis aplicadas hacen el efecto de control esperado en relación al tratamiento 0 o grupo de control, así como se detalla en la **Tabla 1**, es importante destacar que se ha identificado una disparidad significativa al comparar los tratamientos 1 al 5 con el grupo de control T₀ ($p < 0.001$). Estos resultados destacan que la aplicación de *A. faecalis* EBN-NS13 ha tenido un impacto evidente en la reducción de las concentraciones de amoníaco ambiental en los galpones de la granja avícola Cecilita para todas las dosis. Lo que determina el impacto positivo del uso de *A. faecalis* EBN-NS13 en los galpones por su importancia para la mejora en la calidad de aire y todos los efectos benéficos que se obtienen a partir de ello, como la baja incidencia de enfermedades del tracto respiratorio en las aves, alcanzar el top del performance de la línea genética, en cuanto a producción y persistencia de la curva de postura, lo que se traduce en réditos económicos y eficiencia en la explotación.

Tabla 1. Comparaciones múltiples entre tratamientos de *A. faecalis* en los niveles de amoníaco (ppm)

Variable dependiente: PPM
HSD Tukey

(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T0	T1	15,44429*	,85049	<,001	12,9974	17,8911
	T2	16,08571*	,85049	<,001	13,6389	18,5326
	T3	16,33143*	,85049	<,001	13,8846	18,7783
	T4	16,77429*	,85049	<,001	14,3274	19,2211
	T5	16,89429*	,85049	<,001	14,4474	19,3411
T1	T0	-15,44429*	,85049	<,001	-17,8911	-12,9974
	T2	,64143	,85049	,975	-1,8054	3,0883
	T3	,88714	,85049	,903	-1,5597	3,3340
	T4	1,33000	,85049	,623	-1,1169	3,7769
	T5	1,45000	,85049	,530	-,9969	3,8969
T2	T0	-16,08571*	,85049	<,001	-18,5326	-13,6389
	T1	-0,64143	,85049	,975	-3,0883	1,8054
	T3	,24571	,85049	1,000	-2,2011	2,6926
	T4	,68857	,85049	,966	-1,7583	3,1354
	T5	,80857	,85049	,933	-1,6383	3,2554
T3	T0	-16,33143*	,85049	<,001	-18,7783	-13,8846
	T1	-0,88714	,85049	,903	-3,3340	1,5597
	T2	-,24571	,85049	1,000	-2,6926	2,2011
	T4	,44286	,85049	,995	-2,0040	2,8897
	T5	,56286	,85049	,986	-1,8840	3,0097
T4	T0	-16,77429*	,85049	<,001	-19,2211	-14,3274
	T1	-1,33000	,85049	,623	-3,7769	1,1169
	T2	-,68857	,85049	,966	-3,1354	1,7583
	T3	-,44286	,85049	,995	-2,8897	2,0040

	T5		,12000	,85049	1,000	-2,3269	2,5669
T5	T0		-16,89429	,85049	<,001	-19,3411	-14,4474
	T1		-1,45000	,85049	0,530	-3,8969	,9969
	T2		-,80857	,85049	,933	-3,2554	1,6383
	T3		-,56286	,85049	,986	-3,0097	1,8840
	T4		-,12000	,85049	1,000	-2,5669	2,3269

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05

En cuanto a las tendencias de las curvas que representan las concentraciones de amoníaco a lo largo del tiempo, no se observan diferencias significativas entre los distintos tratamientos; 500 ml bacteria *A. faecalis* en el galpón #2 (T1, tratamiento 1), 1000 ml bacteria *A. faecalis* en el Galpón #3 (T2, tratamiento 2), 1500ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #4 (T3, tratamiento 3), 2000ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #5 (T4, tratamiento 4) y 2500ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #6 (T5, tratamiento 5) (**Figura 2**). Dichas curvas exhiben un descenso hasta aproximadamente los días 20 a 25, donde mantienen los niveles bajos de amoníaco ambiental. A partir del día 25, la curva tiende a ascender, pero los niveles de amoníaco se mantienen significativamente por debajo de los registrados en el grupo de control, en el que se usó 0ml de bacteria *A. faecalis* en el Galpón #1 (T0, tratamiento testigo), y los valores fueron (<20 ppm).

No obstante, al observar las medias de las concentraciones a lo largo del tiempo (**Tabla S1, Figura S1**), se revela que la dosis de 2500 ml de *A. faecalis* EBN-NS13 por 330 m² logra mantener los niveles de amoníaco más bajos en comparación con otras dosis. Sin embargo, la cantidad que inicialmente acelera la disminución más rápida de los niveles de amoníaco es de 2000 ml de *A. faecalis* EBN-NS13 por cada 330 m² (**Figura 2**). Se determina que el uso de 2000ml es lo adecuado para la obtención del efecto en los galpones del ensayo.

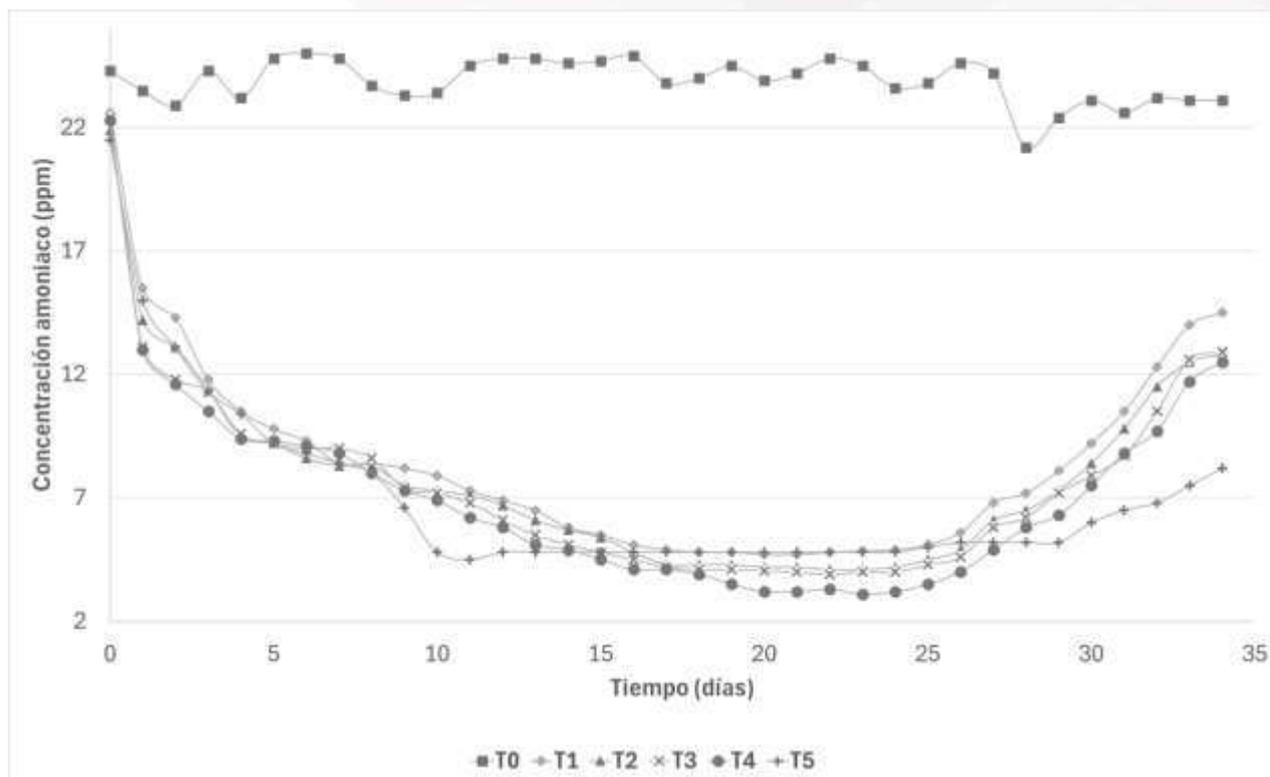


Figura 2. Concentración de amoníaco vs. Tiempo, por tratamiento de *A. faecalis* EBN-NS13. **T₀**: galpón 6 sin aplicación de *A. faecalis*, **T₁**: galpón 1 con 500 ml bacteria *A. faecalis* por 330 m², **T₂**: galpón 2 con 1000 ml bacteria *A. faecalis* por 330 m², **T₃**: galpón 3 con 1500ml bacteria *A. faecalis* por 330 m², **T₄**: galpón 4 con 2000ml bacteria *A. faecalis* por 330 m², **T₅**: galpón 5 con 2500ml bacteria *A. faecalis* por 330 m².

4.2 Interpretación de los resultados

Estos hallazgos sugieren que la introducción de *A. faecalis* EBN-NS13 ha influido de manera positiva en la gestión de los niveles de amoníaco, indicando un potencial significativo para reducir las emisiones en comparación con las condiciones de control. Aunque la variación entre tratamientos no resulta estadísticamente significativa, la diferencia marcada con el grupo de control resalta la eficacia de *A. faecalis* EBN-NS13 como agente mitigador del amoníaco en este entorno específico. Por lo que se puede afirmar que aplicar *A. faecalis* EBN-NS13 en los lechos de la avícola Cecilita disminuye las emisiones de amoníaco en los galpones de producción de gallinas ponedoras de huevos comerciales en la zona de Pingüilí de la provincia de Tungurahua-Ecuador.

El comportamiento de las concentraciones de amoníaco refleja la dinámica del crecimiento poblacional de *A. faecalis* EBN-NS13 en el entorno. Se aprecia una reducción significativa del amoníaco en los primeros cuatro días, indicando una fase acelerada en el crecimiento poblacional bacteriano, probablemente en su etapa exponencial. Del día cinco al veinte, se observa una disminución constante, sugiriendo una ralentización en la tasa de crecimiento poblacional. A partir del día 25, se registra un incremento constante en los niveles de amoníaco, lo que podría implicar que se ha alcanzado el máximo crecimiento, colonizando completamente el lecho avícola y dando lugar a una disminución en la población bacteriana.

Esta dinámica en el crecimiento poblacional de *A. faecalis* relacionado a metabolitos ya ha sido estudiada (Chen et al., 2016; Joo et al., 2006), por lo que nuestros resultados corroboran este comportamiento evidenciado en los niveles de amoníaco. Otra posible razón, es que, al no introducir más población microbiana al medio, la colonización fue interrumpida y por ende los niveles de amoníaco ascendieron. En la literatura se recomienda corroborar este tipo de hallazgos con estudios microbiológicos y moleculares del lecho avícola (Mai et al., 2021). Para contrastar con los niveles de amoníaco y comprender de mejor manera el comportamiento de las bacterias en el medio.

Existe poca evidencia de cepas de *A. faecalis* que se han aislado de lechos avícolas o que han sido usadas para reducir amoníaco en la avicultura. Sin embargo, existe una cepa de *A. faecalis* descrita con actividad de la enzima uricasa aislada del suelo con desechos avícolas (Thillainayagi et al., 2021). Por lo que se requiere desarrollar más estudios en estos nichos ecológicos para confirmar la eficacia en la remoción de amonios en avícolas.

No obstante, la escasez de conocimiento sobre el efecto de *A. faecalis* en la salud de aves es un factor importante el cual debe ser ampliado. Los modelos animales evaluados para las infecciones por *A. faecalis* en aves, no han mostrado infecciones graves o daño a la salud al aplicarse directamente este microorganismo (Montgomery et al., 1983). Sin embargo, otras especies avícolas se han visto afectadas por esta especie de bacteria (Saif et al., 1980). Por lo que es recomendable, continuar con estudios patológicos para el monitoreo sanitario de *A. faecalis* en la avicultura.

Finalmente, estos resultados proporcionan una base sólida para afirmar que la aplicación de *A. faecalis* EBN-NS13 no solo ha sido eficaz, sino que también ha logrado generar una diferencia estadísticamente significativa en las condiciones ambientales de los galpones. Este dato es de suma importancia, ya que respalda la utilidad práctica y la viabilidad de la aplicación de esta bacteria en la gestión de amoníaco en instalaciones avícolas, como las presentes en la granja Cecilita.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

En el presente trabajo logramos evaluar los factores en estudio y determinamos que tenemos en nuestras manos y a disponibilidad una herramienta efectiva para el control del amoníaco en las explotaciones pecuarias, de esta manera aportamos al desarrollo de técnicas innovadoras para la disminución de contaminación ambiental y reducción de la producción de gases efecto invernadero.

Se concluye que *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13 ayudó a disminuir las emisiones de amoníaco en galpones avícolas de producción de gallinas ponedoras de huevos comerciales en la zona de Pinguilí de la provincia de Tungurahua-Ecuador, aceptando H_1 y corroborando su efecto.

Se realizaron las mediciones de los parámetros de amoníaco en cada uno de los galpones que se estableció el estudio, encontrando que los valores de NH_3 fue disminuyendo en relación al tiempo transcurrido, es decir que al cuarto día es donde hubo mas diferencias y más disminución de las PPM de NH_3 .

Se determinó que la dosis de 2000ml de *A. faecalis* EBN-NS13 abastece para 330m² siendo la más efectiva en cuanto a su persistencia en el tiempo en la reducción de amoníaco (NH_3) en los galpones.

5.2 Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos del trabajo y con las conclusiones se recomienda tener ciertas precauciones respecto al manejo de la bacteria *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13, en cuanto se relaciona a su almacenamiento que debe ser en la temperatura ambiente y humedad adecuada.

Los efectos benéficos que nos brinda *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13 son muchos en la calidad del aire de cada uno de los galpones que se realizó la prueba, ya que con un aire limpio y no viciado tenemos una mejor estrategia para que las aves alcancen su performance indicado de acuerdo a su línea genética. Además se observan menos factores de riesgo para contraer enfermedades de origen respiratorio que afectan a la

salud y productividad del las aves en producción, sin contar los gastos que se generan al instaurar un tratamiento antibiótico si ese fuera el caso y fuera necesario, es por eso que se recomienda siempre la correcta ventilación de cada uno de los galpones, es decir permitir que se remueva el aire y tener las condiciones adecuadas dentro de la explotación.

Debemos tener en cuenta algo muy importante que *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13 al ser un microorganismo vivo, no puede estar en contacto con desinfectantes, viricidas, biocidas, etc, ya que su efecto disminuirá por la muerte que los microorganismos que se provoca con estas sustancias. Por esta razón se recomienda tener unas bombas de fumigación específicas para estas aplicaciones con *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13, que no sean compartidas para otros usos dentro de las explotaciones avícolas, garantizando así el correcto desempeño del producto.

También se recomienda el uso de *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13 de acuerdo al criterio del técnico, esto dependerá de las condiciones iniciales con las que se encuentren los galpones, previo a la aplicación del producto y de acuerdo con las necesidades de cada granja se pueda instaurar un plan de aplicación y así se pueda obtener el resultado tan anhelado de disminuir los gases (NH_3) que son tan perjudiciales tanto para las aves como para los operarios dentro del galpón.

Bibliografía

- Aczel, M. R. (2019). What Is the Nitrogen Cycle and Why Is It Key to Life? *Frontiers for Young Minds*, 7, 41. <https://doi.org/10.3389/frym.2019.00041>
- Aiello, S. E., Moses, M. A., & Allen, D. G. (Eds.). (2016). *The Merck veterinary manual* (Eleventh edition). Merck & Co., Inc.
- Andueza Leal, F. D., Araque Rangel, J., Gonzalez Escudero, M., León Leal, A., Escobar Arrieta, S., & Medina Ramírez, G. (2023). Biodiversidad bacteriana en aguas de balnearios mineromedicinales de Ecuador y Venezuela. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 15(1), 56-78. <https://doi.org/10.29166/revfig.v15i1.4368>
- AviNews. (2023, marzo 20). *Día Nacional del Huevo en Ecuador: Resaltan los beneficios de la proteína más noble* [Noticias]. AviNews.com.
- Bailey, M. A., Hess, J. B., Krehling, J. T., & Macklin, K. S. (2021). Broiler performance and litter ammonia levels as affected by sulfur added to the bird's diet. *Journal of Applied Poultry Research*, 30(2), 100159. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2021.100159>
- Basharat, Z., & Yasmin, A. (2022). Sulphonated azo dye decolorization by *Alcaligenes faecalis* subsp. *phenolicus* MB207: Insights from laboratory and computational analysis. *Biophysical Chemistry*, 286, 106806. <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2022.106806>
- Batt, C. A. (2014). *Alcaligenes*. En *Encyclopedia of Food Microbiology* (pp. 38-41). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00006-9>
- Bernhard, A. (2010). The nitrogen cycle: Processes, player, and human impact. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 25.
- Chakravarty, P., Deka, H., & Chowdhury, D. (2023). Anthracene removal potential of green synthesized titanium dioxide nanoparticles (TiO₂-NPs) and *Alcaligenes faecalis* HP8 from contaminated soil. *Chemosphere*, 321, 138102. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138102>

- Chen, J., Zhao, B., An, Q., Wang, X., & Zhang, Y. X. (2016). Kinetic characteristics and modelling of growth and substrate removal by *Alcaligenes faecalis* strain NR. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 39(4), 593-601. <https://doi.org/10.1007/s00449-016-1541-9>
- Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador CONAVE. (2022, diciembre). *Estadísticas del Sector Avícola* [Comunicaciones]. CONAVE.org. <https://conave.org/informacion-sector-avicola-publico/>
- Cohuo- Colli J., Salinas Ruiz J., Hernández Cázares A., Hidalgo Contreras J, y Velasco Velasco J,. (2016, octubre 21). El amoniaco en las explotaciones avícolas: efectos sobre las aves y el ambiente. http://www.labamerex.com/images/El_amoniaco_en_las_explotaciones_avico las.pdf
- Cruz, F. (2023, diciembre 6). *Avicultores esperan comercializar dos millones de aves por fiestas navideñas* [Noticias]. Diario Correo: Ciudad. <https://diariocorreo.com.ec/91542/ciudad/avicultores-esperan-comercializar-dos-millones-de-aves-por-fiestas-navidenas>
- Cuadrado-Osorio, P. D., Ramírez-Mejía, J. M., Mejía-Avellaneda, L. F., Mesa, L., & Bautista, E. J. (2022). Agro-industrial residues for microbial bioproducts: A key booster for bioeconomy. *Bioresource Technology Reports*, 20, 101232. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101232>
- Despaigne Cuevas, R., Cobián Arrimes, J., Calá Babastro, G., Bonaventure Luwanda, L., & Domínguez Borrero, L. (2012). Metabolismo de compuestos nitrogenados. *Medisan*, 16(6), 978-914. <http://ref.scielo.org/qqq57p>
- Egenhofer, C., Schrefler, L., Rizos, V., Marcu, A., Genoese, F., Renda, A., Wieczorkiewicz, J., Roth, S., Infelise, F., Luchetta, G., Colantoni, L., Stoefs, W., Timini, J., & Simonelli, F. (2014). *Composition and Drivers of Energy Prices and Costs in Energy Intensive Industries: The Case of Ceramics, Flat Glass and Chemical Industries*.

- Escobar Veloz, C. M. (2012). *Estudio de factibilidad para la creación y puesta en funcionamiento de una empresa avícola de producción y comercialización de huevos en la parroquia Cotaló de la provincia de Tungurahua* [Pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Esteban, R., Ariz, I., Cruz, C., & Moran, J. F. (2016). Review: Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance. *Plant Science*, 248, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.04.008>
- Foladori, G. (2007). Paradojas de la sustentabilidad: ecológica versus social. *Trayectorias*, 9(24), 20-30. <https://www.redalyc.org/pdf/607/60715115004.pdf>
- Garrity, G. M., Bell, J. A., & Lilburn, T. (2005). Class II. Betaproteobacteria class. Nov. En D. J. Brenner, N. R. Krieg, & J. T. Staley (Eds.), *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology* (pp. 575-922). Springer US. https://doi.org/10.1007/0-387-29298-5_2
- Itokawa, H., Hanaki, K., & Matsuo, T. (2001). Nitrous oxide production in high-loading biological nitrogen removal process under low cod/n ratio condition. *Water Research*, 35(3), 657-664. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00309-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00309-2)
- Jain, N., Priyadarshini, L., Sharma, K., S, I., K, J. M., & R, J. G. (2020). Enhancement of Polymeric Poly-(β)-Hydroxy Butyrate (PHB) production from *Alcaligenes faecalis* through the Optimisation process. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, 11(4), 7436-7441.
- Jia, R., Chen, J., Hu, L., Liu, X., Xiao, K., & Wang, Y. (2022). *Alcaligenes faecalis* Juj3 alleviates *Plasmodiophora brassicae* stress to cabbage via promoting growth and inducing resistance. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 942409. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.942409>
- Joo, H.-S., Hirai, M., & Shoda, M. (2005). Characteristics of ammonium removal by heterotrophic nitrification-aerobic denitrification by *Alcaligenes faecalis* No. 4. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100(2), 184-191. <https://doi.org/10.1263/jbb.100.184>

- Joo, H.-S., Hirai, M., & Shoda, M. (2006). Piggery wastewater treatment using *Alcaligenes faecalis* strain No. 4 with heterotrophic nitrification and aerobic denitrification. *Water Research*, 40(16), 3029-3036. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.06.021>
- Kacprzak, M., Malińska, K., Grosser, A., Sobik-Szołtysek, J., Wystalska, K., Drózdź, D., Jasińska, A., & Meers, E. (2023). Cycles of carbon, nitrogen and phosphorus in poultry manure management technologies – environmental aspects. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(8), 914-938. <https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2096983>
- Kristensen, H. H., & Wathes, C. M. (2019). Ammonia and poultry welfare: A review. *World's Poultry Science Journal*, 56(3), 235-245. <https://doi.org/10.1079/WPS20000018>
- Kwak, D., Lei, Y., & Maric, R. (2019). Ammonia gas sensors: A comprehensive review. *Talanta*, 204, 713-730. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.06.034>
- La Colina. (2022, septiembre 12). *Sector Avícola en Ecuador* [Comercial]. La Colina Agrotecnología. <https://lacolina.com.ec/sector-avicola-en-ecuador/>
- Lee, K., & Joo, H.-S. (2023). The Effect of Foam-Recycle on Ammonium Removal by Aerobic Denitrification Using *Alcaligenes faecalis* No. 4. *Environments*, 10(10), 184. <https://doi.org/10.3390/environments10100184>
- Lizarzaburo, G., & Angulo, S. (2020, julio 4). *El sacrificio de millones de gallinas ponedoras por la crisis de COVID-19*. Expreso Premium: Economía. <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/sacrificio-millones-gallinas-ponedoras-15071.html>
- Loiko, N., Kanunnikov, O., & Litt, Y. (2023). Use of *Alcaligenes faecalis* to Reduce Coliforms and Enhance the Stabilization of Faecal Sludge. *Sustainability*, 15(16), 12580. <https://doi.org/10.3390/su151612580>
- Manogaran, M. D., Shamsuddin, R., Mohd Yusoff, M. H., Lay, M., & Siyal, A. A. (2022). A review on treatment processes of chicken manure. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 2, 100013. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100013>

- Masclaux-Daubresse, C., Daniel-Vedele, F., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L., & Suzuki, A. (2010). Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: Challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*, 105(7), 1141-1157. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq028>
- Mai, W., Chen, J., Liu, H., Liang, J., Tang, J., & Wei, Y. (2021). Advances in Studies on Microbiota Involved in Nitrogen Removal Processes and Their Applications in Wastewater Treatment. *Frontiers in Microbiology*, 12, 746293. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.746293>
- Mazhar, B., Jahan, N., Chaudhry, M., Liaqat, I., Dar, M., Rehman, S., Andleeb, S., & Ali, N. M. (2023). Significant production of vanillin and in vitro amplification of ech gene in local bacterial isolates. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e250550. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.250550>
- Merchán Vélez, I. S., & Quezada Urgilés, J. C. (2013). *Reducción de amoníaco de la pollinaza de pollos broiler mediante adición de zeolita en la ración alimenticia durante el periodo de crianza en la parroquia Paccha del cantón Cuenca, provincia del Azuay* [Pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Mero Chávez, U. F., Baduy Molina, A. L., & Cárdenas Reyes, E. E. (2022). Producción avícola y su incidencia en el desarrollo económico del cantón Olmedo, provincia de Manabí. *Journal Business Science*, 3(2), 43-61.
- Montgomery, R. D., Kleven, S. H., & Villegas, P. (1983). Observations on the Pathogenicity of *Alcaligenes faecalis* in Chickens. *Avian Diseases*, 27(3), 751. <https://doi.org/10.2307/1590318>
- Mukhopadhyaya, I., Hansen, R., El-Omar, E. M., & Hold, G. L. (2012). IBD—what role do Proteobacteria play? *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 9(4), 219-230. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2012.14>
- Najafpour, G. D. (2015). Industrial Microbiology. En *Biochemical Engineering and Biotechnology* (pp. 1-18). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63357-6.00001-8>

- Naseem, S., & King, A. J. (2018). Ammonia production in poultry houses can affect health of humans, birds, and the environment—Techniques for its reduction during poultry production. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), 15269-15293. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2018-y>
- Nikkhoy, Z., & Motamedi, H. (2019). Fibrinolysin production by *Alcaligenes faecalis* strain 26 isolated from environment. *Iranian Journal of Microbiology*, 11(4), 328-336.
- Orr, C. H., James, A., Leifert, C., Cooper, J. M., & Cummings, S. P. (2011). Diversity and Activity of Free-Living Nitrogen-Fixing Bacteria and Total Bacteria in Organic and Conventionally Managed Soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(3), 911-919. <https://doi.org/10.1128/AEM.01250-10>
- Oudenhoven, J. F. M., Knobben, W., & Van Schaijk, R. (2015). Electrochemical Detection of Ammonia Using a Thin Ionic Liquid Film as the Electrolyte. *Procedia Engineering*, 120, 983-986. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.636>
- Padappayil, R. P., & Borger, J. (2023, marzo 11). *Ammonia Toxicity*. StatPearls [Internet]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546677/>
- Parker, C. T., Garrity, G. M., Parker, C. T., Wigley, S., & Garrity, G. M. (2009). *Nomenclature Abstract for Betaproteobacteria Garrity et al. 2006 emend. Boden et al. 2017*. [dataset]. NamesforLife, LLC. <https://doi.org/10.1601/nm.1616>
- Pinos-Rodríguez, F., Juan M. García-López, Juan C. Peña-Avelino, Luz Y. Rendón-Huerta, Juan A. González-González, Cecilia Tristán-Patiño. (2012). IMPACTOS Y REGULACIONES AMBIENTALES DEL ESTIÉRCOL GENERADO POR LOS SISTEMAS GANADEROS DE ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA. *Agrociencia*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30223110004>
- Prosser, J. I. (2007). The Ecology of Nitrifying Bacteria. En *Biology of the Nitrogen Cycle* (pp. 223-243). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044452857-5.50016-3>

- Ramachandran, R. (2018). Chicken: Female Reproduction. En *Encyclopedia of Reproduction* (pp. 586-594). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20519-0>
- Ranz, A. I., Morán, B. B., Peña, J. D., Fernández, A. S., Pérez, M. P. R., & others. (2014). La biotecnología en sanidad animal. *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura*, 768, 8.
- Rashid, A., Mirza, S. A., Keating, C., Ali, S., & Campos, L. C. (2021). Hospital wastewater treated with a novel bacterial consortium (*Alcaligenes faecalis* and *Bacillus paramycoides* spp.) for phytotoxicity reduction in Berseem clover and tomato crops. *Water Science and Technology*, 83(7), 1764-1780. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.079>
- Rodríguez Martínez, H. L., Peña Manjarrez, M., Gutiérrez Reyes, A. V., González Trevizo, C. L., Montes Fonseca, S. L., & López Avalos, G. G. (2017). Biorremediación de arsénico mediada por microorganismos genéticamente modificados. *Terra Latinoamericana*, 35(4), 353-361.
- Romero López, T. D. J., & Vargas Mato, D. (2017). Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 38(3), 88-100. <http://ref.scielo.org/pd2yxh>
- Ruiz K, Trilleras J, y Sanjuanelo D. (2019). Dispersión del amoníaco proveniente de una granja avícola en Santa Bárbara (Cundinamarca, Colombia) y su valoración cualitativa. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172019000400006#:~:text=Las%20emisiones%20de%20amon%C3%ADaco%20por,importantes%20avances%20en%20salud%20ambiental
- Saif, Y. M., Moorhead, P. D., Dearth, R. N., & Jackwood, D. J. (1980). Observations on *Alcaligenes faecalis* Infection in Turkeys. *Avian Diseases*, 24(3), 665. <https://doi.org/10.2307/1589804>
- Sayed, R., & Chincholkar, S. (2005). Production of poly - β -hydroxy butyrate from *Alcaligenes faecalis*. *Indian Journal of Microbiology*, 44, 269-272.

- Sayed, R. Z., Shaikh, S. S., Wani, S. J., Rehman, M. T., Al Ajmi, M. F., Haque, S., & El Enshasy, H. A. (2021). Production of Biodegradable Polymer from Agro-Wastes in *Alcaligenes* sp. And *Pseudomonas* sp. *Molecules*, 26(9), 2443. <https://doi.org/10.3390/molecules26092443>
- Shini, S., Kaiser, P., Shini, A., & Bryden, W. L. (2008). Biological response of chickens (*Gallus gallus domesticus*) induced by corticosterone and a bacterial endotoxin. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 149(2), 324-333. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2007.10.003>
- Siegel, P. B., Honaker, C. F., & Scanes, C. G. (2022). Domestication of poultry. En *Sturkie's Avian Physiology* (pp. 109-120). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819770-7.00026-8>
- Swelum, A. A., El-Saadony, M. T., Abd El-Hack, M. E., Abo Ghanima, M. M., Shukry, M., Alhotan, R. A., Hussein, E. O. S., Suliman, G. M., Ba-Awadh, H., Ammari, A. A., Taha, A. E., & El-Tarabily, K. A. (2021). Ammonia emissions in poultry houses and microbial nitrification as a promising reduction strategy. *Science of The Total Environment*, 781, 146978. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146978>
- Tan, W. A., & Parales, R. E. (2019). Hydrocarbon Degradation by Betaproteobacteria. En T. J. McGenity (Ed.), *Taxonomy, Genomics and Ecophysiology of Hydrocarbon-Degrading Microbes* (pp. 125-141). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14796-9_18
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2024, enero 5). *Nitrogen cycle | Definition & Steps*. Encyclopaedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/nitrogen-cycle>
- Thillainayagi, S., Harikrishnan, S., & Jayalakshmi, S. (2021). Screening, Optimization and Production of Uricase from *Alcaligenes Faecalis* Isolated from Poultry Farm Litter. *International Journal of Scientific Research & Growth*, Volume 9, 2455-6211.

- Timmer, B., Olthuis, W., & Berg, A. V. D. (2005). Ammonia sensors and their applications—A review. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 107(2), 666-677. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.11.054>
- Topcu, N. S., Duman, G., Olgun, H., & Yanik, J. (2022). Evaluation of Poultry Manure: Combination of Phosphorus Recovery and Activated Carbon Production. *ACS Omega*, 7(24), 20710-20718. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00975>
- Tsujino, S., Dohra, H., & Fujiwara, T. (2021). Gene expression analysis of *Alcaligenes faecalis* during induction of heterotrophic nitrification. *Scientific Reports*, 11(1), 23105. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02579-3>
- United States Environmental Protection Agency EPA. (2024, enero 16). *CADDIS Volume 2 Ammonia* [Estatal]. EPA. <https://www.epa.gov/caddis-vol2/ammonia>
- Valencia Pinzón, A. R., López, A. M., & Cañon, A. M. (2024, enero). *Guía rápida alternativas para el manejo de residuos orgánicos de la producción avícola en granja* [Organización]. Fenavi. <https://fenavi.org/publicaciones-programa-ambiental/guia-rapida-alternativas-para-el-manejo-de-residuos-organicos-de-la-produccion-avicola-en-granja/>
- Vásquez C. (2020, febrero). *El amoníaco en la producción Avícola* <https://bmeditores.mx/avicultura/el-amoniaco-en-la-produccion-avicola/>
- Viñas Canals, M. (2005). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: Caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica* [Doctoral Dissertation]. Universitat de Barcelona.
- Wagner, S. C. (2011). Biological Nitrogen Fixation. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 15.
- Wang, M., Yi, M., Lu, M., Gao, F., Liu, Z., Huang, Q., Li, Q., & Zhu, D. (2020). Effects of probiotics *Bacillus cereus* NY5 and *Alcaligenes faecalis* Y311 used as water additives on the microbiota and immune enzyme activities in three mucosal tissues in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared in outdoor tanks. *Aquaculture Reports*, 17, 100309. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100309>

Wergedal, J. E., Ku, Y., & Harper, A. E. (1964). Influence of protein intake on the catabolism of ammonia and glycine in vivo. *Advances in Enzyme Regulation*, 2, 289-299. [https://doi.org/10.1016/S0065-2571\(64\)80020-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2571(64)80020-0)

Xu, S.-Q., Qian, X.-X., Jiang, Y.-H., Qin, Y.-L., Zhang, F.-Y., Zhang, K.-Y., Hong, Q., He, J., Miao, L.-L., Liu, Z.-P., Li, D.-F., Liu, S.-J., & Qiu, J.-G. (2022). Genetic Foundations of Direct Ammonia Oxidation (Dirammox) to N₂ and MocR-Like Transcriptional Regulator DnfR in *Alcaligenes faecalis* Strain JQ135. *Applied and Environmental Microbiology*, 88(6), e02261-21. <https://doi.org/10.1128/aem.02261-21>

Zhang, Q., Zhu, Y., Yuan, C., Zhang, C., Cui, M., & Zhao, T. (2022). Nitrogen removal and mechanism of an extremely high-ammonia tolerant heterotrophic nitrification-aerobic denitrification bacterium *Alcaligenes faecalis* TF-1. *Bioresource Technology*, 361, 127643. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127643>

조정섭, 송홍규, 임태빈, 권혁도, 정택경, (주)에코비즈넷, & 강원대학교산학협력단. (2014). *Alcaligenes faecalis* EBN-NS13 (KCTC 12471BP) having excellent ability of nitrification and denitrification (Korean Intellectual Property Office Patent 10-1418710-0000). <https://doi.org/10.8080/1020130115393>

Anexos

Tabla S1. Datos descriptivos del conjunto de datos analizados por ANOVA.

PPM	Descriptivos							
	N	Media	Desv. estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
T0	35	23,8886	,86629	,14643	23,5910	24,1862	21,20	25,00
T1	35	8,4443	4,03647	,68229	7,0577	9,8309	4,70	22,60
T2	35	7,8029	3,84704	,65027	6,4814	9,1244	4,10	21,90
T3	35	7,5571	3,88120	,65604	6,2239	8,8904	3,90	22,40
T4	35	7,1143	3,98823	,67413	5,7443	8,4843	3,10	22,30
T5	35	6,9943	3,62450	,61265	5,7492	8,2393	4,50	21,50
Total	210	10,3002	7,04897	,48643	9,3413	11,2592	3,10	25,00

Pruebas de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
PPM	Se basa en la media	5,209	5	204	<,001
	Se basa en la mediana	3,705	5	204	,003
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	3,705	5	166,384	,003
	Se basa en la media recortada	4,484	5	204	<,001

ANOVA

PPM	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	7802,496	5	1560,499	123,279	<,001
Dentro de grupos	2582,296	204	12,658		
Total	10384,792	209			

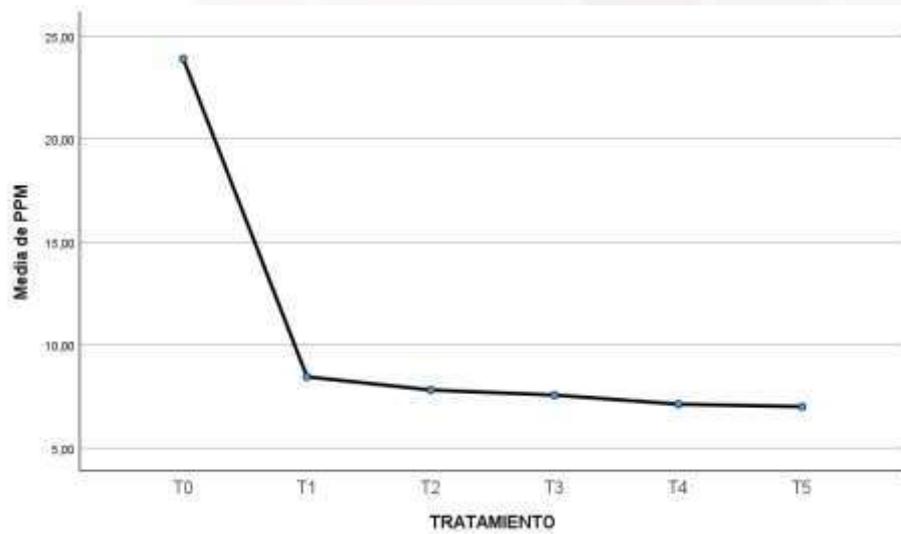


Gráfico S1. Gráfico de medias de los tratamientos de *A. faecalis*.



Imagen 1. Medición antes de iniciar el ensayo, valores superiores a 20PPM de NH_3



Imagen 2. Aplicación de *A. faecalis*. mediante la bomba de aspersión



Imagen 3 y 4. Mediciones de los dos días posteriores a la aplicación de *A. faecalis*.



Imagen 5. Mediciones de los cinco días posteriores a la aplicación de *A. faecalis*.



Imagen 6. Mediciones de los cinco días posteriores a la aplicación de *A. faecalis*.



Imagen 7. Mediciones de los cinco días posteriores a la aplicación de *A. faecalis*.

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

