

PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE LA ORINA DE CONEJO

DAYANA KATHERIN CASTRO VALERO

**Proyecto Integral de Grado Para Optar al Título de
INGENIERO QUÍMICO**

Asesor

Iván Ramírez Marín

Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre
Firma del director

Nombre
Firma del presidente del jurado

Nombre
Firma del jurado

Nombre
Firma del jurado

Bogotá D.C, febrero del 2023

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectoría Académica de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaría General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Programa de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

DEDICATORIA

El siguiente trabajo de grado está dedicado principalmente a Dios, por permitirme sonreír ante todos mis logros que son resultados de su ayuda. A mis padres Héctor Castro y Luz Enid Valero por ser los principales promotores de mis sueños, les dedico todo mi esfuerzo, en reconocimiento a todo el sacrificio puesto para formarme como ser humano y profesional, gracias por enseñarme el ejemplo de la resiliencia, la perseverancia y la verraquera.

A mi hermano Alejandro Castro por ser el guía de mi mapa, en el tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues su gran corazón me llevan cada día a admirarlo más.

A Paola Hermosa por su apoyo y cariño incondicional, finalmente quiero dedicar este trabajo a Gonzalo Alonso por su infinito amor y paciencia.

Dayana Katherin Castro Valero

AGRADECIMIENTO

Quiero brindar mi profundo agradecimiento a todo el personal y las autoridades que hacen la Fundación Universidad de América, por siempre confiar en mí y abrirme las puertas, por permitirme realizar esta investigación dentro del establecimiento educativo.

Gracias al docente Iván Ramírez, mi tutor académico y director de tesis, por su ayuda, consejos y paciencia para la realización de este trabajo, por su valioso tiempo a la revisión y crítica de los documentos generados durante el desarrollo de este proyecto.

A mis compañeros de la facultad de ingeniería por su apoyo y trabajo en equipo. Particularmente, quiero dar las gracias a Adriana Martínez por el interés mostrado hacia mi crecimiento profesional y por todos los buenos momentos que hemos vivido.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1 MARCO TEÓRICO	19
1.1 Condiciones Económicas a Nivel Colombia	19
1.2 Condiciones del Suelo para su Productividad	21
1.2.1 Elementos esenciales	22
1.2.2 Influencia del pH en la tierra	22
1.2.3 Microorganismos esenciales	23
1.3 Características Generales de un Fertilizante	25
1.3.1 Impacto ambiental del uso de fertilizantes	26
1.4 Aprovechamiento de un Residuo	27
1.4.1 Propiedades en las deyecciones de los conejos	27
1.5 Metodologías de Recolección de Orina	29
1.5.1 Recolección de orina utilizando jaulas metabólicas	30
1.5.2 Recolección de orina mediante citocinesis	31
1.5.3 Recolección de orina mediante intervención moderada	31
1.5.4 Recolección de orina bajo sistema de raqueta con cadena	32
1.6 Metodologías de Sanitización	33
1.6.1 Sanitización por almacenamiento	33
1.6.2 Sanitización por pasteurización solar	33
1.6.3 Sanitización por pasteurización	34
1.7 Metodologías de Transformación	34
1.7.1 Transformación mediante osmosis inversa	34
1.7.2 Transformación mediante concentración por congelación	35
1.7.3 Transformación mediante hidrolisis	37
1.7.4 Transformación mediante destilación con una membrana	38
1.7.5 Transformación mediante precipitación de estruvita	38
2 MARCO LEGAL	40
3 METODOLOGÍA	41
3.1 Matriz de Selección en Sistema de Recolección	43
3.1.1 Recolección de orina utilizando jaulas metabólicas	43

3.1.2	<i>Recolección de orina mediante citocinesis</i>	44
3.1.3	<i>Recolección de orina con intervención moderada</i>	44
3.1.4	<i>Recolección de orina bajo sistema de raqueta con cadena</i>	44
3.2	Matriz de Selección en Sistema de Sanitización	46
3.2.1	<i>Sanitización por almacenamiento</i>	46
3.2.2	<i>Sanitización por pasteurización solar</i>	46
3.2.3	<i>Sanitización por pasteurización</i>	46
3.3	Matriz de Selección para Transformación	48
3.3.1	<i>Transformación mediante osmosis inversa</i>	48
3.3.2	<i>Transformación mediante concentración por congelación</i>	48
3.3.3	<i>Transformación mediante hidrolisis</i>	48
3.3.4	<i>Transformación mediante una destilación con membrana</i>	49
3.3.5	<i>Transformación mediante precipitación de estruvita</i>	49
4	RESULTADOS	52
4.1	Metodología Óptima para la Producción del Biofertilizante	52
4.2	Sistema de Recolección Bajo Raqueta con Cadena	53
4.3	Caracterización de la Orina de Conejo	55
4.4	Sistema de Sanitización por Pasteurización	56
4.5	Sistema de Transformación	59
4.6	Marco Regulatorio en Colombia	65
4.7	Impacto económico y ambiental del biofertilizante	65
5	CONCLUSIONES	67
	BIBLIOGRAFIA	68
	ANEXOS	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Precio de fertilizante NPK en Colombia para 2022</i>	19
Figura 2 <i>Comportamiento de los precios de los fertilizantes por departamentos</i>	20
Figura 3 <i>Precios nacionales del 25-4-24 principales departamentos (\$/Kg)</i>	20
Figura 4 <i>Deyección sólida y líquida de los conejos en g</i>	27
Figura 5 <i>Análisis químico medio de las deyecciones en diversas especies</i>	27
Figura 6 <i>Microelementos en las deyecciones del conejo (ppm/Kg)</i>	27
Figura 7 <i>Jaula diseñada para sistema de recolección de orina</i>	49
Figura 8 <i>Jaula diseñada para sistema de recolección de orina</i>	50
Figura 9 <i>Análisis químico de orina en la especie Nueva Zelanda</i>	50
Figura 10 <i>Diagrama de decisión en proceso de hidrólisis</i>	54
Figura 11 <i>Comportamiento del pH con respecto a la temperatura</i>	55
Figura 12 <i>Precipitación de estruvita con orina de conejo</i>	57
Figura 13 <i>Análisis químico de precipitado de orina Nueva Zelanda</i>	57
Figura 14 <i>Comparación de los elementos analizados</i>	58

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Coefficientes de Evaluación</i>	39
Tabla 2 <i>Coefficientes de evaluación para matriz de recolección</i>	42
Tabla 3 <i>Matriz de Selección para Sistema de Recolección</i>	42
Tabla 4 <i>Coefficientes de evaluación para matriz de sanitización</i>	44
Tabla 5 <i>Matriz de Selección para Sistema de Sanitización</i>	44
Tabla 6 <i>Coefficientes de evaluación para matriz de tratamiento</i>	47
Tabla 7 <i>Matriz de Selección para Sistema de Tratamiento</i>	47
Tabla 8 <i>Resultados de las Matrices de Selección</i>	48
Tabla 9 <i>Enfermedades zoonóticas</i>	52
Tabla 10 <i>Resultados experimentales del pH con respecto a la Temperatura</i>	55

RESUMEN

Se realizó una investigación cuyo propósito fue determinar la mejor ruta para la producción de un biofertilizante a partir de la orina de conejo, inicialmente se realizó una revisión bibliográfica, con el fin de obtener datos como el promedio de deyecciones de un conejo, las propiedades fisicoquímicas de este residuo y aspectos a tener en cuenta para la producción del biofertilizante como son la recolección, la sanitización y el tratamiento, lo que nos permitió la elaboración de una matriz de selección basándonos en criterios la flexibilidad, la eficiencia y el impacto tanto económico como ambiental.

Como respuesta de la matriz se aclara la metodología de la producción del biofertilizante, donde inicialmente se hace la recolección de la orina mediante jaulas de sistema raqueta con cadena, obteniendo así la materia prima libre de materia seca, sin embargo, se entiende la presencia de patógenos lo que conlleva a aplicar un proceso de pasteurización con el objetivo de inactivar cada virus o bacteria, garantizando así un producto idóneo para los consumidores, finalmente, un proceso de tratamiento bajo hidrólisis alcalina y precipitación por estruvita.

Se trabajó con una muestra de *Urea* = 2,91 mg/ml inicialmente con el fin de confirmar las reacciones investigadas bibliográficamente, una vez se comprobó la reacción de la urea se inicia el proceso con la orina de conejo, el primer sistema a implementar es la sanitización donde se toma una ruta de crear un ambiente de pH alcalino de 10 el cual impide el crecimiento y desarrollo de patógenos, este hábitat es desarrollado durante la hidrólisis alcalina, proceso elaborado bajo condiciones óptimas de 95,00 °C y 25,00 atm, cabe resaltar que la reacción involucrada en esta parte del proceso es fundamental ya que se obtiene en el producto el amonio, elemento requerido para el desplazamiento en la reacción de precipitación por estruvita, la cual se hizo adicionando 0,004g de MgO siendo centrifugado a 10000 rpm durante 3 min, donde se tiene como resultado fosfato inorgánico

Palabras Clave: Biología Agraria, Desarrollo Agrícola, Desarrollo Medioambiental, Agricultura.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha tomado conciencia del agotamiento de los recursos naturales, debido a la explotación desmesurada de los mismos. En el ámbito agrícola, el objetivo es lograr altos rendimientos por unidad de superficie para satisfacer la creciente demanda de alimentos, sin considerar la sostenibilidad de la producción (viabilidad técnica, rentabilidad económica y sin contaminación). Los éxitos de esta estrategia han sido importantes, pero es una agricultura ambientalmente inconveniente, la cual ha ocasionado la pérdida de la diversidad biológica, disminución de los recursos forestales y agotamiento de suelos.

Esta situación ha disminuido la calidad de la superficie para la agricultura, causando graves problemas ecológicos, económicos y sociales. Por tal motivo, es necesario encontrar soluciones de producción adecuadas. Las nuevas tecnologías deben estar orientadas a mantener la sostenibilidad del sistema mediante la explotación racional de los recursos naturales y aplicación de medidas adecuadas para preservar el ambiente es por esto que se crea la necesidad de adoptar medidas conservadoras y es aquí donde los biofertilizantes tienen un papel sustancial ya que el desarrollo de estos se contempla como una importante alternativa para la sustitución parcial o total de los fertilizantes, permitiendo la constitución de un nuevo enfoque en la agroindustria basados en los principios de la economía circular los cuales guían al diseño de productos eco-innovadores generando una ventaja competitiva en el mercado, además de incrementar la percepción de calidad por los clientes, alcanzando un nivel micro en el desempeño de la economía circular debido a el enfoque en el consumo eficaz de las materias primas y el eco diseño de los productos.

Además de la implementación de los campos de la economía circular como son la extracción, transformación, distribución, uso y recuperación, se pone en práctica la estrategia de diseño “Cradle to Cradle” cuyo propósito es promover que los productos sean diseñados de tal manera que siempre puedan ser recuperados a través de ciclos biológicos o técnicos ^[1] Para este fin se tiene como principio fundamental el aprovechamiento de desechos, el cual hace referencia a que los productos que hoy consideramos “basura”, pueden ser un nutriente biológico que alimente la tierra o un elemento técnico valioso que se reincorpore en procesos productivos.

Teniendo en cuenta la información anterior en el presente proyecto se pretende desarrollar un

biofertilizante que supla los nutrientes como es el nitrógeno y el fosforo necesarios para la fertilización de los suelos utilizando la orina de conejo como materia prima debido a que se han reportado estudios donde los productos de desecho orgánico (excretas, orina, viseras, etc.), pueden tener un impacto positivo en el ecosistema, al darles un tratamiento adecuado, para que sean reincorporados en el suelo y se pueda obtener una agricultura más saludable al disminuir el impacto negativo en el ambiente al reducir la cantidad de agroquímicos ^[2]

La implementación de un biofertilizante ayudaría que la economía campesina no dependa de insumos de alto costo o de grandes fluctuaciones del mercado. Además, tras la solución de la degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad este proyecto retoma la investigación en el campo basada en la ciencia y la transferencia tecnológica, incluidas algunas eco y biotecnologías beneficiosas para los productores agrarios.

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar un biofertilizante aprovechando la orina de conejo.

Objetivos Específicos

- Caracterizar el método de recolección y composición de la orina de conejo aprovechable para la producción del biofertilizante.
- Diseñar una matriz para la selección de un método de producción de biofertilizantes con el aprovechamiento de la orina de conejo.
- Identificar las condiciones de operación del método seleccionado.
- Analizar el impacto económico y ambiental del biofertilizante.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los fertilizantes químicos los cuales han contribuido al rendimiento de los cultivos, produciendo un aumento en la producción de alimentos en el mundo, cuentan con un nutriente primario que es el nitrógeno (N) un elemento químico que influye directamente en la producción agrícola en forma cuantitativa y cualitativa, el cual aumenta el área foliar, expansión foliar, grosor de hojas y tasa de fotosíntesis, además el suministro de N mejora el proceso fotosintético ^[3] ya que el N es un constituyente de enzimas, proteínas, ADN, y clorofila. Sin embargo, los principales impactos de la aplicación excesiva son la eutrofización, acidificación y toxicidad.

En adición la aplicación excesiva ha producido: contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad. ^[4]

Los principales impactos negativos de los fertilizantes sobre el agua son: lixiviación, aguas subterráneas y superficiales. En el caso del suelo los impactos negativos son: variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y deterioro microfauna. Por último, el efecto en el aire se debe principalmente a la aplicación inadecuada de los fertilizantes. ^[5]

Por otra parte los costos de los agro insumos en Colombia son preocupantes ya que según estudios sobrepasan un 30% y 50% del precio mundial afectando negativamente la producción de los campesinos quienes deben gastar su presupuesto en fertilizantes de síntesis química industrial (urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio, entre otros) para suplir los requerimientos de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de sus cultivos. ^[6]

El Gobierno nacional está impulsando campañas para que los productores nacionales de fertilizantes bajen sus precios, sin embargo, los representantes de la industria de fertilizantes afirman que están trabajando con una utilidad de tan solo el 2% y no pueden reducir más los precios ya que Colombia decidió importar fertilizantes para el agro. ^[7]

Las importaciones de fertilizantes del país concentradas en urea, fosfato diamónico (DAP), fosfato

monoamónico (MAP) y cloruro de potasio (KCL) provienen principalmente de Rusia y Ucrania, por lo que según datos oficiales 42% del fertilizante que se consume en el agro colombiano proviene de los dos países en guerra. ^[8]

Esto, según explicó Rodolfo Correa, presidente del Consejo Nacional de Secretarios de Agricultura, tiene efectos muy graves en la economía nacional, pues aumentará aún más el costo de los insumos, al haber una disminución de la oferta, y esto va a repercutir en el ciclo de alza generalizada de precios de los alimentos. ^[9] En el país se aplican 499,4 kg de este tipo de fertilizante de síntesis química por cada hectárea cultivada el dato anterior nos indica un exceso en la aplicación de fertilizantes en Colombia ya que el promedio en América Latina es de 106,9 Kg, confirmando que el país está teniendo como consecuencia una mayor erosión en los suelos y por tanto una menor productividad, teniendo como consecuencia indicadores alarmantes en la dimensión ambiental. Además, evidencia la dependencia de nuestros agricultores nacionales a los agroquímicos afectando los económicamente, ambientalmente y exponiendo la salud de cada uno de ellos. ^[10]

Entre las problemáticas del uso desmedido de agroquímicos también se observa la afectación de la salud. Según Bejarano 2011, los efectos negativos más comunes asumidos a estas sustancias son dolores de cabeza, náuseas, vómitos, dolores de estómago y diarreas; sin embargo, la intensidad de estos efectos sobre la salud depende del tipo de agroquímico y su grado de toxicidad, cantidad o dosis de exposición, frecuencias de aplicación y utilización de medidas de protección personal. ^[11]

Antecedentes

“Evaluación de urea extraída a partir de orina de conejo como fertilizante en semillas de trigo, Maribel Flores González”

Este artículo aplica la elaboración de un biofertilizante a base de orina de conejo que rinde hasta un 80 % más que el químico, además de que de esta manera se elimina la contaminación que generan los residuos sólidos y líquidos de este animal.

Su objetivo general es dar un valor agregado a un producto de desecho, como lo es la orina de

conejo, el cual tiene como resultados impactos benéficos a nivel económico, mejorando la economía de los productores cunícolas del estado de Tlaxcala, y a nivel ambiental ya que se reduce la contaminación del agua, aire, etc., evitando que este tipo de desechos se vierten en los drenajes directamente provocando contaminación en mantos acuíferos y efectos negativos en la salud del hombre.^[12]

“Uso de la orina humana como fertilizante en la producción de la lechuga, Waldman S.”

El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta del cultivo de lechuga, variedad Waldmann Green, a la aplicación de la orina humana fermentada en 3, 6 y 12 meses (eliminar posibles patógenos). Las temperaturas fueron escogidas principalmente en base a las condiciones de clima templado se recomienda este método ya que para poder utilizar la orina en la agricultura el mejor tratamiento es el almacenamiento, debido que no se necesita mucha energía para su funcionamiento ni instrumentos para su procesamiento y se ha mostrado que los productos obtenidos de este tratamiento son altamente recomendados para su utilización en la agricultura como se ha mostrado en otros casos de estudio.^[13]

“Diseño de un modelo de recolección y procesamiento de la orina humana para ser utilizada como fertilizante, Cesar Pérez Gómez”

Este proyecto de grado busca diseñar el modelo de recolección y procesamiento de la orina humana para ser utilizada como fertilizante, la orina fue analizada con el fin de obtener todos los componentes que esta tiene y pueden ser aprovechadas para la producción de un biofertilizante. Como valor agregado se resalta que al momento de hacer la concentración de la orina se recupera el agua que contiene, aunque ésta no es potable, se destinará para el uso doméstico y para el lavado de la maquinaria.^[14]

“Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales, Edgar Javier Morales”

Este proyecto se centra en los fertilizantes nitrogenados ya que la mayor desventaja que tiene es la pérdida de nitrógeno (N) en forma de gas amoníaco (NH₃), proveniente de su descomposición al ser aplicada al suelo. Para reducir las pérdidas por volatilización y mantener una disponibilidad adecuada de N en el suelo, diferentes estrategias de manejo agronómico han sido evaluadas. La

triamida N-(n-butil) tiofosfórica (NBPT), inhibidor de la ureasa, impide temporalmente la degradación enzimática de la ureasa y minimiza la pérdida por volatilización de NH_3 , aumentando en consecuencia la absorción de N del fertilizante por el cultivo. ^[15]

“Análisis tecnológico de la sección de síntesis en la planta de producción de urea a instalarse en la provincia de Cienfuegos, Jorge Pérez”

Este artículo aplica el conocimiento de los principales cultivos los cuales solo necesitan de 17 elementos para su fertilización, entre ellos encontramos N, P y K como elementos indispensables, mientras que el S, Mg, Ca se usan en pequeñas porciones. De igual manera, estos elementos también se pueden encontrar en la orina humana, teniendo la urea como la principal fuente de nitrógeno. ^[16]

“Efecto de la orina humana enriquecida con microorganismos benéficos en el rendimiento de la cebolla en condiciones de Allpas – Acobamba, Toño Pariona”

El procedimiento aplicado en la orina humana se inició con el almacenamiento en cilindros de plástico de 200 litros, inoculados con microorganismos benéficos según la metodología de guía de microorganismos eficaces. ^[17]

“Efecto de la relación Mg: P para recuperar nitrógeno en forma de estruvita a partir de orina humana tratada en un biorreactor LFI, Lizzeth del Valle”

Este trabajo consistió en operar un biorreactor de lecho fluidizado inverso para evaluar el proceso de ureólisis con orina humana concentrada y diluida, con tiempo de reacción de 7 h y posteriormente recuperar nitrógeno en forma de estruvita evaluando diferentes relaciones molares $\text{Mg}^{2+}:\text{PO}_4^{3-}$.

El biorreactor mostró buen desempeño logrando eficiencias de ureólisis de 94.3 y 85.7% respectivamente. La biomasa inmovilizada en el soporte fue capaz de soportar altas concentraciones de urea (20677.4 mg/L) y de N-NH_4^+ (10798.3 mg/L).

Para recuperar el N-NH_4^+ de la orina hidrolizada se evaluaron diferentes relaciones molares $\text{Mg}^{2+}:\text{PO}_4^{3-}$ (1.0:1.0, 1.5:1.0, 2.0:1.0), se encontró que con orina concentrada se logró recuperar 2228.9 mg/L de N-NH_4^+ con una relación molar de 2.0:1.0 recuperando la mayor cantidad

estruvita (104.5 g) mientras que con orina diluida se logró recuperar 665 mg/L de N-NH₄ + con la relación molar 1.5:1.0 y 19.3 g de estruvita. Durante la adición de sales de magnesio y fosfato, la orina concentrada hidrolizada tuvo menor disminución de pH (>8) que la orina diluida hidrolizada (<7), por lo que presentó las mejores condiciones para favorecer la precipitación de estruvita. ^[18]

“Use of urine as a source of nutrients in agriculture, Máryeluz Rueda”

Este artículo presenta los diferentes tratamientos existentes para la orina ^[19]

- Precipitación de estruvita, un proceso rápido y simple que ha sido probado en distintos proyectos pilotos. Consiste en agregar una fuente de magnesio para precipitar casi todo el fosforo como estruvita. Sin embargo, con este método más del 97% del nitrógeno y prácticamente todo el potasio permanecen en el efluente. ^[20] Además, los patógenos que pueden estar presentes no son inactivados, por eso deben combinarse con otros procesos de tratamiento.
- Almacenamiento, La orina humana puede ser usada como un fertilizante para los cultivos a pequeña o gran escala. Cuando la orina recolectada proviene de distintos hogares y se mezcla en una sola unidad de almacenamiento, es recomendable un alto pH, alta temperatura, alta concentración y períodos largos de almacenamiento para eliminar patógenos y virus que puedan estar presentes en la excreta ^[21] No obstante, son necesarias investigaciones para poder determinar el grado de pérdida y disponibilidad de nutrientes durante y después del almacenamiento.
- Ósmosis Inversa, para su uso en la producción de un producto fertilizante concentrado. La ósmosis inversa es una tecnología de purificación de líquidos que utiliza una membrana semipermeable para eliminar iones, moléculas, y partículas más grandes de un líquido ^[22]

1 MARCO TEÓRICO

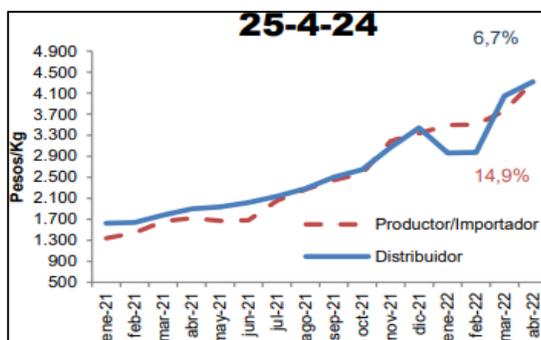
1.1 Condiciones Económicas a Nivel Colombia

Con el objeto de mantener los niveles de producción agrícola, la demanda mundial de fertilizantes nitrogenados aumentó de 108.2 millones de toneladas (t) en 2011 a 109.9 millones de t en 2012, a una tasa de crecimiento de 1.6%. En 2018 se produjeron 116.0 millones de t, con un crecimiento de 1.3% [23] Del aumento total de la demanda, de 7 millones de t de nitrógeno entre 2012 y 2018, de América Latina (13%), principalmente de Brasil, Argentina, Colombia y México [24] Basado en lo anterior se evidencia la producción exponencial de los fertilizantes nitrogenados a nivel mundial estando Colombia entre los países más demandantes de América Latina.

El precio de los fertilizantes compuestos como el 25-4-24 (Nitrógeno 25% (N amoniacal 1%, N ureico 24%); fósforo 4%; potasio 24%. Fertilizante mezclado físicamente NPK para aplicación al suelo.), número uno en ventas por volumen, tuvo un aumento en el mes de abril del presente año a nivel productor-importador de 14,9% y en el eslabón distribuidor de 6,7%, como se muestra en la siguiente ilustración. El incremento en el precio de este fertilizante tiene un impacto en los costos de los cultivos como café, frutales, palma africana, arroz y plátano.

Figura 1.

Precio de fertilizante NPK en Colombia para 2022



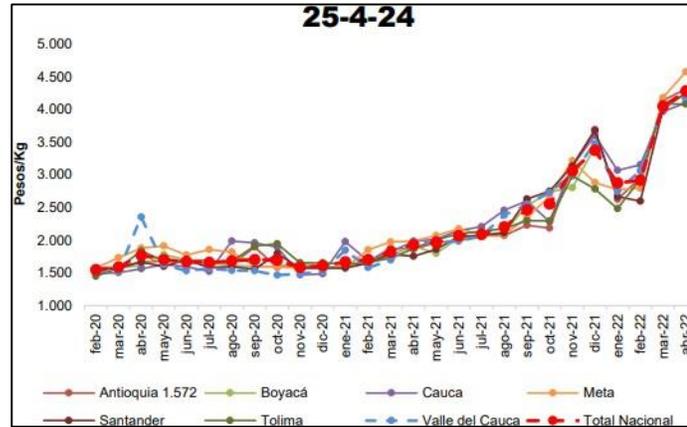
Nota. Cifras nacionales de fertilizante 25-4-24. Tomado de: Félix, “Tendencias actuales de los fertilizantes y perspectivas para 2016”. C. Agro. Vol. 40 Euro Academic. B. E. I. 2013. Disponible: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Boletines/>

Además, se estudia el comportamiento de los precios de los fertilizantes más vendidos en los

principales departamentos agrícolas del país, ilustración 2, para el eslabón distribuidor presenta un aumento generalizado en los últimos meses reportados. Las cotizaciones más altas del 25-4-24 durante el periodo de referencia se han registrado en el departamento de Meta y Cundinamarca, y el más bajo en Tolima y Cauca.

Figura 2.

Comportamiento de los precios de los fertilizantes por departamentos



Nota. Cifras departamentales del fertilizante 25-4-24. Tomado de: MADR-DCAF con base en la información reportada en el SIRIAGO. Disponible: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Boletines/>

Figura 3.

Precios nacionales del 25-4-24 principales departamentos (\$/Kg)

Departamento	abr-21	dic-21	mar-22	abr-22	Variación abr22/mar 22	Var. Año corrido abr/22-dic/21	Var. Anual abr 22/abr 21
Antioquia	1.859	3.688	4.135	4.311	4,3%	16,9%	131,9%
Boyacá	1.910	3.423	3.935	4.256	8,1%	24,3%	122,8%
Cauca	1.981	3.599	3.967	4.099	3,3%	13,9%	106,9%
Cundinamarca	2.116	3.499	4.114	4.418	7,4%	26,3%	108,7%
Meta	1.987	2.880	4.179	4.573	9,4%	58,8%	130,1%
Nariño	1.920	3.418	3.935	4.329	10,0%	26,6%	125,4%
Santander	1.753	3.673	4.007	4.248	6,0%	15,6%	142,3%
Tolima	1.873	2.784	4.083	4.081	-0,1%	46,6%	117,9%
Valle del Cauca	1.984	3.478	4.045	4.179	3,3%	20,2%	110,6%
Total Nacional	1.932	3.372	4.045	4.277	5,7%	26,8%	121,4%

Nota. Cifras departamentales del fertilizante 25-4-24. Tomado de: MADR-DCAF con base en la información reportada en el SIRIAGO. Disponible: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Boletines/>

Con las problemáticas antes mencionadas a nivel económico, ambiental y de salud la

agroecología se presenta como una solución efectiva y menos costosa, la producción de un biofertilizante a partir de la orina del conejo contribuiría a mejorar las propiedades del suelo y a garantizar productos competitivos en el mercado y así, favorecer una alimentación sana e incluso contribuir a la mitigación del cambio climático y a la regulación de algunas plagas que pueden ser estimuladas por la excesiva presencia de nutrientes como el nitrógeno

La implementación de un biofertilizante ayudaría que la economía campesina no dependa de insumos nocivos ni de las fluctuaciones del mercado o la cotización del petróleo ya que como se sabe para producir fertilizantes químicos se requiere una enorme cantidad de la energía que se obtiene a partir de este combustible fósil.

Tras este panorama debe llevar a retomar la investigación en el campo basada en la ciencia y la transferencia tecnológica, incluidas algunas eco y biotecnologías beneficiosas para los productores agrarios, en este caso sintetizando un biofertilizante a base de orina de conejo con el objetivo de impactar cada una de las problemáticas mencionadas. Con lo anterior se evidencia que las habilidades necesarias para enfrentar este tipo de problemáticas encajan con los conocimientos en las diferentes ramas de la ciencia del Ingeniero Químico de la Fundación Universidad de América ya que logra analizar críticamente el proceso de producción de un producto que cuenta con un alto valor agregado.

1.2 Condiciones del Suelo para su Productividad

A lo largo del proyecto, se enseñará brevemente el concepto básico de la producción de biofertilizante a partir de biomasa, sin embargo, con la intención de contextualizar y generar una idea clara al lector.

En primer lugar, se debe entender que la nutrición vegetal es el proceso mediante el cual la planta absorbe del medio que le rodea las sustancias necesarias para llevar a cabo su metabolismo y en consecuencia, crecer y desarrollarse; este proyecto está centrado en la nutrición de plantas terrestres por tanto se entiende que el medio a trabajar es el suelo.

Dicho lo anterior se comprende la importancia de los elementos esenciales y los

microorganismos del suelo durante el desarrollo del biofertilizante, de esta manera se obtendrá un producto que cumpla altas expectativas de nutrición en el suelo y por consiguiente supla las necesidades de las plantas agilizando el rendimiento.

Cabe aclarar que se comprende cómo biofertilizante a fertilizantes orgánicos elaborados en base de restos vegetales, bacterias, hongos y microorganismos que proporcionan a las plantas los nutrientes necesarios para su desarrollo permitiendo así un buen aprovechamiento del nitrógeno atmosférico desarrollando un sistema radicular, ayudando a una mayor solubilidad y conductividad de nutrientes, al mismo tiempo mejoran la calidad del suelo y ayudan a conseguir un entorno microbiológico más óptimo y natural.

1.2.1 Elementos esenciales

Como menciona Lora, Brown y Marschner ^[25] son ocho los elementos esenciales para la planta, los cuales son requeridos en cantidades pequeñas, por lo cual, se les denomina elementos menores o micronutrientes. Estos elementos son el boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), níquel (Ni), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). Existen algunos elementos cuya esencialidad no ha sido probada, pero cuya presencia en algunos casos produce efectos benéficos, tales como el silicio (Si), yodo (I) y sodio (Na); o en ciertos casos el elemento es necesario para que se efectúe un determinado proceso, tal como ocurre con el cobalto (Co), en la fijación simbiótica del nitrógeno.

1.2.2 Influencia del pH en la tierra

El pH del suelo (o del sustrato de cultivo) determina la asimilabilidad de los nutrientes; y los fertilizantes tienen una importante influencia sobre dicho pH. La incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo depende principalmente de:

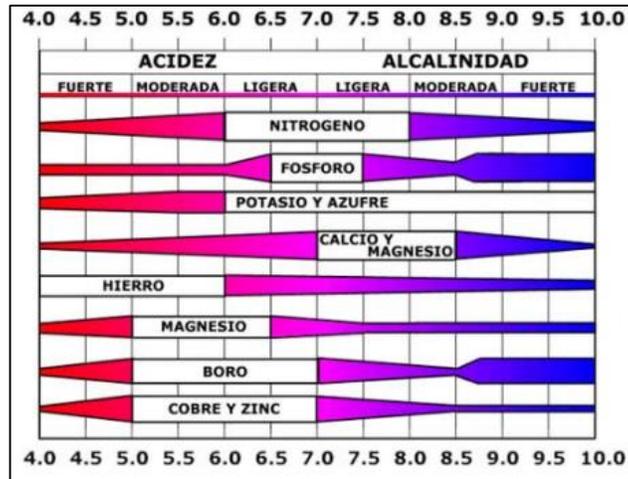
- a) El perfil acidificante de la composición química del fertilizante
- b) El carácter descalificante o calcificante
- c) La capacidad tamponadora del suelo.

El pH del suelo influye de forma decisiva en la asimilabilidad de los diferentes nutrientes vegetales. Los pHs que proporciona mejores condiciones de asimilabilidad son ligeramente ácidos

(pH entre 6 y 7)

Figura 4.

Influencia del pH sobre la disponibilidad de nutrientes



Nota. Escala de acides o alcalinidad para algunos nutrientes. Tomado de: M. Zaman “Effects of urease and nitrification inhibitors on the efficient use of urea”. *Soil Sci. Plant Nutr.* Vol. 4. 2013. Disponible: www.agrogen.com.mx/mainaplicaciones.htm

Sin embargo, es importante aclarar que específicamente para esta investigación nos enfocamos en la urea, la cual no es exigente en cuanto a la naturaleza del suelo, con excepción de los suelos muy ácidos, que suelen ser poco activos biológicamente. La urea es soluble en agua y no es retenida por el suelo. La urea se hidroliza en contacto con el agua y bajo la acción de la ureasa. En buenas condiciones de temperatura y humedad dicha hidrólisis puede realizarse en dos o tres días. Posteriormente la forma amoniacal pasa a forma nítrica (liberando H⁺ al medio), que es la forma en que la mayoría de las plantas asimilan el nitrógeno. Por lo que el comportamiento final de la urea es de carácter ácido. Por otro lado, el fosfato puede utilizarse en toda clase de suelos, aunque su uso está especialmente indicado en los de pH elevado, (por su carácter acidificante), ya sean fuertemente calizos o salinos. En suelos calizos debe preverse una importante pérdida de eficacia por precipitación del fosfato en forma bicálcica o tricálcica.

1.2.3 Microorganismos esenciales

Como se mencionó anteriormente, además de los elementos esenciales, el papel de los

microorganismos del suelo juega un papel importante en la nutrición, sin embargo antes de explicar las evidencias bibliográficas es importante conocer los siguientes términos:

- *Rizosfera*. Es una zona de interacción única y dinámica entre raíces de plantas y microorganismos del suelo. Esta región especializada, está caracterizada por el aumento de la biomasa microbiana y de su actividad.
- *Patógenos*. Los patógenos son agentes infecciosos que pueden provocar enfermedades a su huésped. Este término se emplea normalmente para describir microorganismos como los virus, bacterias y hongos, entre otros. Estos agentes pueden perturbar la fisiología normal de plantas, animales y humanos.
- *Salmonella*. Es un género bacteriano de la familia Enterobacteriaceae constituido por bacilos gramnegativos intracelulares anaerobios facultativos con flagelos peritricos. Constituye un grupo importante de patógenos para animales y personas.
- *PGPR*. Por sus siglas en inglés, que significan plant growth promoting rhizobacteria, o rizobacteria promotora del crecimiento vegetal, la cual mostró ser un organismo altamente eficiente para aumentar el crecimiento de las plantas e incrementar su tolerancia a otros, además de colonizar la rizosfera y mejorar la disponibilidad de estos nutrientes a través de los mecanismos de fijación biológica de nitrógeno y solubilización de P y K.
- *BSP*. Son conocidas como bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSP) El *Azospirillum* es un género de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, encontrado en suelos de diferentes regiones del globo terrestre. Estas bacterias cuando se asocian a raíces de plantas, ayudan en la producción y productividad del cultivo, actuando en el aumento de parte aérea.
- *FBN*. Es conocido como la fijación biológica de nitrógeno haciendo referencia al uso de las plantas y bacterias para mantener unos niveles óptimos en el suelo. La fijación de nitrógeno es un proceso que implica la transformación de N_2 atmosférico a amonio NH_4 que es asimilado por las plantas.
- *NPK*. Es un fertilizante que contiene nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Elementos más que necesarios en el suelo para que las plantas puedan construir sus tejidos. La composición de estos abonos NPK o ‘ternarios’ se expresa mediante tres números que indican las proporciones

de los tres nutrientes: el primer número se refiere al nitrógeno, el segundo al fósforo y el tercero al potasio. Ahora bien, estas cifras no se corresponden directamente con los porcentajes de cada elemento, pues el nitrógeno va expresado como (N_2), el fósforo como pentóxido (P_2O_5) y el potasio como óxido (K_2O)

- *Rendimiento*. Hace referencia a la cantidad de producto que se puede llegar a obtener al llevarse a cabo una reacción completamente.

Una vez explicados los términos, se explicará la importancia de cada uno de los microorganismos del suelo y el papel que juega en la producción de una planta.

- Urzúa ^[26] demuestra que la fijación biológica de nitrógeno (FBN), es adecuado para los cultivos y favorecen su crecimiento. Por el contrario, la carencia de nitrógeno impide el crecimiento de los cultivos y su desarrollo saludable. Alrededor del 90% de la fijación natural en nuestro planeta es biótica y se produce gracias a los microorganismos del suelo.
- Grisell, S. M. R.; Gavi, R. F.; Peña ^[27] demuestran que la temperatura y pH elevado cercano a 9 en combinación con amoníaco han llevado a la inactivación de microorganismos, como Salmonella y E. coli.
- U. Cecato, C. Domínguez y T Trento ^[28] demuestra que la mayoría de los suelos tropicales y subtropicales son deficientes en fósforo biodisponible.

Por lo que el empleo de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, principalmente las solubilizadoras de fosfato (BSP), pueden reducir el uso de fertilizantes químicos.

- Kloepper ^[29] definió en 1978 a un tipo de bacteria como PGPR, la cual mostró ser un organismo altamente eficiente para aumentar el crecimiento de las plantas e incrementar su tolerancia a otros. Otras modificaciones se manifiestan en la densidad de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.

1.3 Características Generales de un Fertilizante

Explicados los elementos esenciales requeridos por las plantas para realizar su proceso

metabólico, también se quiere comprender la analogía que hay entre un fertilizante químico y un agroquímico ya que de acuerdo con García y Lazovski ^[30] el término “agroquímicos” se refiere a las sustancias o mezclas de sustancias destinadas a controlar o evitar la acción de plagas agrícolas, regular el crecimiento de las plantas, defoliar y desecar o proteger del deterioro, el producto o subproducto cosechado. Sin embargo, estos también son conocidos con las siguientes características, como se menciona en CASAFE ^[31]

- *La toxicidad* de un agroquímico es su capacidad de producir alteraciones a la salud y su clasificación se realiza en función de sus efectos agudos. Para indicar la toxicidad aguda de una sustancia se utilizan los valores de la Dosis Letal. De esta forma, puede extrapolarse a los seres humanos.
- *Tiempo de Carencia* Luego de una aplicación con fitosanitarios quedan residuos de los productos utilizados en los cultivos. Cada residuo tiene un tiempo de degradación natural que varía en función del tipo de compuesto químico, y las condiciones climáticas.

Surge entonces el concepto de Tiempo de Carencia que se define como la cantidad de días que debe transcurrir entre la última aplicación de un producto fitosanitario y la cosecha o pastoreo de animales.

1.3.1 Impacto ambiental del uso de fertilizantes

Conociendo estas características de los agroquímicos se explica a continuación las consecuencias ambientales que causan el uso desmedido de los fertilizantes, principalmente nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K) pueden llegar a causar

Eutrofización siendo uno de estos los procesos más contaminantes de las aguas, este proceso está provocado por el exceso de nutrientes en el agua teniendo como consecuencia el crecimiento desmesurado de plantas y otros organismos que consumen gran cantidad de oxígeno y aportan materia orgánica en abundancia, además del agotamiento de oxígeno en las aguas se genera putrefacción ocasionando problemas respiratorios y su consumo puede causar problemas sanitarios a las personas de la zona.

Así mismo se ve la acidificación de los suelos por la captación y asimilación del amonio

por las raíces de las plantas, en el proceso de nitrificación y lixiviación del nitrato y por último, la toxicidad directa se produce por el amoníaco y el dióxido de nitrógeno ambos en estado gaseoso [32].

1.4 Aprovechamiento de un Residuo

Teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales de una planta durante el proceso de producción y el impacto del uso de los agroquímicos mencionados anteriormente se logra evidenciar la necesidad de producir un biofertilizante que sustituya parte de los sintéticos, con el objetivo de suplir esta necesidad se pretende incorporar a la cadena los residuos de los conejos, más específicamente la orina, la cual ayudara a solucionar la problemática ambiental, social y económica en la actividad agrónoma.

1.4.1 Propiedades en las deyecciones de los conejos

Después de una amplia revisión bibliográfica se identificó las propiedades de la orina de conejo como fuente potencial de materia prima para la producción de un biofertilizante, esto se debe a su alto contenido de Nitrógeno (N) y otros microelementos mostrados a continuación

Figura 5.

Deyección sólida y líquida de los conejos en g

	Adulto y hembra gestante	Hembra lactante	Conejo en engorde
Deyección sólida	70-75	180	40-50
Deyección líquida	100	250-300	100
Total	170-175	430-480	140-150
Total	170-175	430-480	140-150

Nota. Cantidad de orina que se logra recolectar en conejos. Tomado de: A.S. Aluja, “Bienestar animal en la enseñanza de medicina veterinaria y zootecnia” *Rev. Div. Científica*. Vol. 42, junio 2011. Disponible: https://ddd.uab.cat/pub/cunicultura/cunicultura_a1990m10v15n87/cunicultura_a1990m10v15n87p199.pdf.

Figura 6.

Análisis químico medio de las deyecciones en diversas especies

	Conejo	Pollo	Cerdo	Bovino
Materia seca, %	26,0	21,7	7,4	8,3
Materia orgánica, %	18,2	16,0	5,5	6,5
Nitrógeno total, o/oo	9,5	13,5	5,5	3,7
Nitrógeno amoniacal, o/oo	1,9	4,5	3,3	1,8
Anhidrido fosfórico (P ₂ O ₅), o/oo	13,5	8,2	4,0	2,3
Oxido de potasio (K ₂), o/oo	7,5	6,6	3,9	5,6
Oxido de calcio, o/oo	9,9	2,8	3,3	3,9
Oxido de magnesio, o/oo	2,0	2,4	1,1	1,6

Nota. Cantidad de orina que se logra recolectar en conejos. Tomado de: A.S. Aluja, “Bienestar animal en la enseñanza de medicina veterinaria y zootecnia” *Rev. Div. Científica*. Vol. 42, junio 2011. Disponible: https://ddd.uab.cat/pub/cunicultura/cunicultura_a1990m10v15n87/cunicultura_a1990m10v15n87p199.pdf.

Figura 7.

Microelementos en las deyecciones del conejo (ppm/Kg)

Magnesio	322
Cobre	65
Hierro	2.000
Zinc	472

Nota. Cantidad de orina que se logra recolectar en conejos. Tomado de: A.S. Aluja, “Bienestar animal en la enseñanza de medicina veterinaria y zootecnia” *Rev. Div. Científica*. Vol. 42, junio 2011. Disponible: https://ddd.uab.cat/pub/cunicultura/cunicultura_a1990m10v15n87/cunicultu ra_a1990m10v15n87p199.pdf.

Con la información recolectada y teniendo como primera opción la orina de conejo para la producción de un biofertilizante, se realiza una revisión bibliográfica respecto al sistema de recolección, sanitización y procesamiento de la orina para convertirla en el producto deseado.

1.5 Metodologías de Recolección de Orina

La recolección de orina de animales de experimentación es un requerimiento básico dentro de los estudios bioquímicos, nutricionales, urológicos, metabólicos, toxicológicos, fisiológicos y de comportamiento general. Las características esenciales de la recolección experimental de orina son: (1) obtención de orina pura sin contaminación por heces o alimento, (2) recolección de orina sin ninguna intervención directa, (3) facilidad y comodidad de la recolección, (4) eficiencia de la recolección y (5) rapidez en la recolección (para recolecciones simples de una muestra de orina puntual).

Una pequeña cantidad de orina [20 - 25] ml bastará para un análisis cualitativo, que abarca la medición del pH urinario y los niveles de proteínas.

La importancia del bienestar animal para la obtención de buenos resultados experimentales ha recibido mucha atención recientemente como resultado de varios estudios científicos como menciona Hughes, Back ^[33]. Y por la Directiva del Consejo Económico Europeo en los años 80

(Comunidad Económica Europea 1986), y más recientemente por la American Association for Laboratory Animal Science. Se ha resaltado una y otra vez que “los animales estresados no resultan útiles para la investigación” [34]

Dicho lo anterior se realizó una revisión bibliográfica que nos llevó a cuatro posibles sistemas de recolección los cuales serán explicados a continuación.

1.5.1 Recolección de orina utilizando jaulas metabólicas

Se ha llevado a cabo con éxito la recolección de muestras de orina en conejos con fines cuantitativos utilizando jaulas metabólicas como se menciona en Benson & Paul-Murphy [35] Normalmente una jaula para conejos debería permitir el enriquecimiento social o ambiental mediante comportamientos normales tales como sentarse sobre las patas traseras, saltar, hacer agujeros o esconderse. En el pasado, los conejos de laboratorio se mantenían en jaulas pequeñas, lo que ha demostrado tener efectos perjudiciales según Boers [36].

Se ha descubierto que es muy importante proporcionar un espacio adecuado (que permita cambios de postura normales con libertad de movimiento), camas de paja, palos de madera y ramas de árbol (para roer), y cajas de cartón y plástico (para servir como sustituto de las madrigueras y lugares “seguros” en los que refugiarse). Parte del heno debería colocarse encima de la jaula para que el animal pueda pasar algo más de tiempo recuperándose a través de los barrotes de la jaula. Debe evitarse que un animal esté separado visualmente de otros conejos (ya que a los conejos les encanta vivir en grupos). El espacio en el que se ubicaría un único animal debería tener, al menos, una superficie de 75 x 80 cm. El suelo de las jaulas no debería tener rejilla o alambre, ya que esto daría lugar a dermatitis ulcerativa. La recolección de orina en conejos debería ser lo menos estresante posible.

Estas jaulas están meticulosamente construidas para separar de forma efectiva las heces y la orina en tubos externos a la jaula. La separación es inmediata y completa, sin contaminación de la orina y sin ninguna posibilidad de que la orina entre en el tubo de las heces, proporcionando muestras puras y fiables. Una jaula metabólica comercial típica se construye de la siguiente manera. El animal se mantiene en un habitáculo de policarbonato transparente y resistente a las

mordeduras con respiraderos de quita y pon. Dispone de un habitáculo para la comida fuera de la jaula que contiene un cajón con alimento el cual puede abrirse por fuera, facilitando su llenado con papillas, líquidos o polvos, sin molestar al animal.

Esta disposición evita que la orina se contamine con el alimento. Las pequeñas dimensiones del habitáculo externo disuaden al animal de hacer su nido o dormir en él. Las jaulas tienen una botella de agua y un tubo para la recolección de derrames, diseñado para evitar que el agua entre en la jaula y contamine la orina. Este tubo está calibrado, lo que permite al investigador medir la cantidad real de agua que consume el animal. Los tubos para la recolección de orina y heces están hechos de polimetilpenteno impermeable, y permiten a las heces y la orina fluir dentro de tubos de recolección diferenciados. Las jaulas están construidas de tal forma que la orina nunca entra en el tubo de las heces.

Cada desecho puede retirarse sin la menor molestia para el animal, lo que permite que las pruebas puedan llevarse a cabo durante un periodo de tiempo prolongado sin interrupciones causadas por el periodo de aclimatación del animal. Además, todos los componentes de la jaula se pueden esterilizar. La jaula de metabolismo requiere una única jaula de apoyo, que puede ser una jaula tanto de grandes como de pequeños roedores.

1.5.2 Recolección de orina mediante citocinesis.

Es un procedimiento mediante el que puede obtenerse orina estéril directamente de la vejiga insertando una pequeña aguja, sin contaminación potencial por la uretra distal o el tracto genital. La vejiga se localiza en el abdomen caudoventral, y puede localizarse cuando está llena.

Se atraviesa la pared abdominal con una jeringa estéril hasta llegar a la vejiga para recoger la muestra de orina directamente en ella. Es la forma “más limpia” de recoger una muestra de orina, ya que se obtiene directamente de la vejiga y estará libre del microbiota habitual de la uretra.

1.5.3 Recolección de orina mediante intervención moderada

De acuerdo con Garvey y Aalseth ^[37] las muestras de orina pueden tomarse fácilmente de conejos recién nacidos (de edades entre 12 horas y 10 días). Se sostiene al conejo sobre su espalda

con la cabeza hacia la muñeca de la mano izquierda del operario, cuyo pulgar presiona la pata izquierda trasera. El conejo es inmovilizado firmemente y se le impide moverse. Con el pulgar de la mano derecha se presiona levemente y con suavidad el abdomen del conejo. La presión debería comenzar a la altura del estómago y terminar justo debajo de la vejiga, región en la que la presión debería ser mayor. Se debe mantener la presión hasta que se expele la orina, lo que sólo sucede cuando los músculos están relajados. Después de 10 días, deberá modificarse la limitación impuesta al conejo. Los dedos pulgar y meñique del operario deberán sostener al animal por el cuello y la caja torácica, dejando libres las patas traseras. La presión que se ejerce sobre el animal es igual a la descrita anteriormente; sin embargo, deberá ejercerse durante un periodo más largo antes de que la orina sea liberada debido al aumento de control muscular.

En este punto la función de la vejiga ya no se estimula, por lo que es necesario aislar al conejo durante varias horas para permitir que la vejiga se llene antes de la recolección. El experimentador tiene que recordar que la presión o limitación excesiva puede generar incomodidad, daños internos o asfixia. Además, cada conejo requiere un tiempo diferente para relajarse, por lo que puede que sea necesario ejercer presión durante varios minutos. Utilizando este método se han recolectado hasta 5 ml de orina.

1.5.4 Recolección de orina bajo sistema de raqueta con cadena

Se usa cuando se quieren transferir las deyecciones situadas debajo de las jaulas hacia una dirección única, perpendicular a las hileras de jaulas, con el fin de cargarlas en remolques o llevarlas hacia fosas externas.

Es un sistema muy flexible que, sin embargo, no permite evitar las emanaciones de gas. La caída que debe tener la jaula del conejo es alrededor de 20° y luego de esto se redirecciona a una tubería con una inclinación superior hasta llegar a la caída de 90° donde se almacena en tanques de recolección color negro herméticamente cerrado de Polipropileno. En cuanto a el Almacenamiento se realizará bajo las jaulas en canales previstos a este efecto generalmente de sección circular con un diámetro aproximado de 40 cm que vacían su contenido a una fosa de recogida.

Es aquí donde se instalan ciertos tubos que permiten el vaciado de las canales cuando estas

están llenas. Este tipo de sistema evita los fenómenos de sedimentación en el interior de las canales creando un efecto de sifón que impide los gases producidos en la fermentación.

1.6 Metodologías de Sanitización

Se entiende que los virus son el segundo grupo de patógenos en las plantas después de los hongos, en cuanto al número e importancia de las enfermedades que causan. Los virus colonizan sistémicamente a las plantas susceptibles, y la multiplicación del virus va acompañada de alteraciones en la regulación de la expresión génica en las células huésped, que dan lugar al desarrollo de la enfermedad, normalmente conocida como clorosis que se entiende como la reducción del crecimiento disminuyendo la producción biológica del cultivo, teniendo como consecuencias pérdidas de producto económico.

Por lo tanto, se debe realizar un proceso de sanitización el cual se entiende como un tratamiento higiénico que elimina los patógenos presentes, se encontraron tres posibles métodos de sanitización:

1.6.1 Sanitización por almacenamiento

El tratamiento consiste en almacenar la orina a una temperatura de 20 °C o superior durante un período de al menos 30 días. Este método está documentado en "División de orina: riesgos higiénicos y pautas microbianas para la reutilización" ^[38] y depende de un pH alto y la presencia de amoníaco libre para inactivar los patógenos.

Se sumergieron sondas de monitoreo de temperatura en los tanques de orina y se colocaron dentro y fuera del invernadero para medir la temperatura del aire ambiente.

1.6.2 Sanitización por pasteurización solar

El tratamiento consiste en calentar lotes de orina en un pasteurizador solar a 70 °C durante 30 minutos.

- *Sistema del pasteurizador solar.* Se compone de un depósito de orina, un colector solar, un

intercambiador de calor, un depósito de agua tratada y un tubo de ventilación y los componentes hidráulicos. El depósito de orina debe tener suficiente altura para que haya una columna de orina por encima de los otros componentes, proporcionando circulación de orina por acción de la gravedad llegando al colector solar, donde se confina y luego se libera nuevamente con calor, pasando nuevamente por el intercambiador llenándolo y liberándose en el tanque de orina libre de patógenos. El intercambiador recupera el calor de la orina tratada y transfiere parte del calor al siguiente lote a tratar, lo que aumenta la eficiencia del sistema ^[39].

1.6.3 Sanitización por pasteurización

Este tratamiento consiste en un proceso tecnológico donde en un pasteurizador mediante el uso de calor se eliminan los patógenos. La pasteurización tiene varias clasificaciones, sin embargo, en este proyecto se practicaría:

- *Pasteurización tipo VAT.* Consiste en calentar los líquidos hasta una temperatura de aproximadamente 63°C y luego dejarla enfriar durante 30 minutos dentro del mismo recipiente. Al terminar, se envasa de inmediato para prevenir contaminación.

1.7 Metodologías de Transformación

Conocemos el proceso de transformación como la operación que sufre la materia prima para convertirla en algún producto que resulte apto para ser trabajado y que satisfaga la necesidad del cliente.

En este caso, el sector de la economía que se encuentra involucrado es el primario ya que es el encargado de la obtención y extracción de los recursos básicos para la elaboración de productos, directamente en diferentes áreas de la naturaleza como lo es la agricultura y la explotación forestal. Con el fin de darle un valor agregado a la orina de conejo se analizaron los siguientes procesos de transformación.

1.7.1 Transformación mediante osmosis inversa

Para su uso en la producción de un producto fertilizante concentrado. La ósmosis inversa es

una tecnología de purificación de líquidos que utiliza una membrana semipermeable para eliminar iones, moléculas, y partículas más grandes de un líquido. La ósmosis inversa es la más eficiente energéticamente, pero tiene dos inconvenientes principales: 1) Debido a que el nitrógeno en la orina almacenada se encuentra principalmente en forma de amoníaco, una parte puede atravesar la membrana en lugar de quedar retenida en el concentrado, y 2) las membranas utilizadas son sensibles a la obstrucción por sólidos en la orina. Como se evidencia en Rich Earth Institute ^[40] probó dos estilos de sistema de ósmosis inversa de 2015 a 2019 y descubrió que se puede lograr una concentración efectiva cuando la orina fresca se acidifica inmediatamente con vinagre, para mantener el nitrógeno en forma de urea, en lugar del amoníaco que se forma en la orina almacenada sin tratar.

Esto permite una buena retención de nitrógeno en el producto final y también ayuda a reducir el ensuciamiento al evitar la formación de depósitos minerales. Sin embargo, la membrana aún se obstruye con el tiempo, lo que requiere un mantenimiento continuo generando un problema en la implantación a escala de edificio.

1.7.2 Transformación mediante concentración por congelación

Es una técnica en la que congelamos parcialmente la orina hasta que se forman cristales de hielo. Estos cristales están hechos de agua casi pura, lo que significa que el líquido descongelado contiene casi todos los nutrientes. Al drenar el líquido descongelado y desechar el hielo, podemos concentrar el fertilizante en un volumen menor de líquido.

En esta técnica con el fin de obtener una mayor concentración el procedimiento se debe realizar con orina hidrolizada. Según el estudio de Van Mil y Bouman ^[41] La concentración por congelación se ha estudiado como un posible método para concentrar soluciones sensibles al calor, previo a un secado a baja temperatura.

El fundamento de este método se basa en la solidificación del agua durante el proceso, generando una alta concentración de sólidos solubles, lo que provoca una baja en la cantidad de agua libre, basado en el fenómeno físico de la depresión del punto de congelación. El proceso, sin

embargo, requiere tiempo y un preciso control de la temperatura para lograr la concentración deseada.

En la concentración por congelación se observan dos pasos:

- 1) cristalización del hielo
- 2) separación del hielo de la fase concentrada.

En la primera fase, es enfriado por debajo de su punto de congelación para permitir separar el concentrado, así como los cristales de hielo. En la segunda fase, los cristales de hielo son separados de los concentrados de la orina, como se demuestra en Deshpande ^[42] los factores que afectan la eficiencia en la separación de los cristales, es la viscosidad y el diámetro del cristal del hielo. La cristalización en la concentración por congelación se puede llevar a cabo mediante un cristizador de contacto directo o bien, por contacto indirecto.

- *Cristalizador de contacto directo.* Enfría la alimentación entrante debido al contacto con el refrigerante y presenta ventajas sobre el cristalizador de contacto indirecto.

Por ejemplo, elimina la pared de enfriamiento, lo cual reduce la velocidad de transferencia de calor y consecuentemente el uso de caros raspadores en la superficie del intercambiador de calor, así como la reducción en el consumo de energía. Esto, sin embargo, requiere la operación del cristalizador bajo condiciones de alto vacío, y grandes volúmenes de vapor comprimido a bajas presiones.

- *Cristalizador de contacto indirecto.* Estos cristalizadores pueden ser divididos en dos clases, basados en el tipo de transferencia de calor indirecta involucrada, siendo estos cristalizadores enfriados interna o externamente. En los cristalizadores enfriados externamente, el calor de cristalización es removido a través de la pared del cristalizador. Los cristalizadores enfriados externamente operan de acuerdo al principio adiabático, en el cual el calor es removido desde la parte externa al crecimiento del cristal.

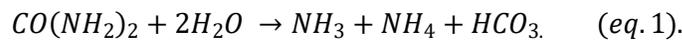
Cassano y Dríoli ^[43] demuestra que la concentración por congelación es uno de los mejores

métodos para remover agua debido a su bajo uso de energía, carencia de evaporación y baja temperatura de operación.

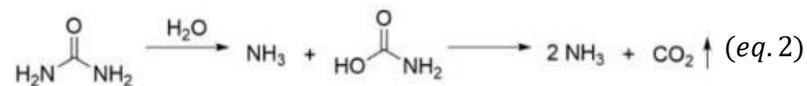
La aplicabilidad comercial de la concentración por congelación depende ampliamente de la efectividad en la separación hielo-concentrado. Una vez que la distribución del tamaño del cristal ha ocurrido en la unidad de cristalización, estos cristales deben ser separados en una forma eficiente para obtener un producto concentrado. La concentración puede ser hecha continua o discontinuamente en prensas, centrifugas con filtros, columnas de lavado o combinaciones de estos dispositivos. Sin embargo, se menciona en Ramteke^[44] que el mejor método de separación de los cristales es mediante la operación de columnas de lavado, las cuales proveen una perfecta separación del hielo y el líquido sin alguna dilución. Debido a que las columnas de lavado son cerradas y operan sin gas.

1.7.3 Transformación mediante hidrolisis

Los elementos principales de la orina son el Nitrógeno y el Fósforo. El Nitrógeno está predominantemente en forma de urea $CO(NH_2)_2$. La urea se hidroliza rápidamente en amoníaco y bicarbonato según la ecuación 1:



La orina se hidroliza a medida que pasa el tiempo. La reacción por la que la urea pasa a amoníaco se denomina ureálisis^[45] y es un paso muy importante y necesario para la precipitación de estruvita. Esta reacción se da según la ecuación 2:



En esta ecuación los grupos amino se hidrolizan en dos etapas en serie para acabar formando amoníaco y dióxido de carbono. Una vez el amoníaco esté formado en contacto con agua puede transformarse en amonio y en hidróxido de amonio.

Como se ve en la ecuación 3 la reacción es reversible por lo que la cantidad de amoníaco significa que tienes la misma cantidad de amonio o hidróxido de amonio en presencia de agua.



1.7.4 Transformación mediante destilación con una membrana

Se conoce como el proceso que separa los nutrientes como el Nitrógeno, el Potasio y el Fósforo que posteriormente son utilizados como fertilizante. Consiste en un proceso térmico en el que únicamente las moléculas de vapor pueden pasar a través de la membrana, la cual es hidrofóbica. El alimento que se ha de tratar está en contacto directo con una de las superficies de la membrana, pero no penetra a través de los poros de la membrana al ser ésta hidrofóbica.

La fuerza impulsora para la separación es la presión de vapor a través de la membrana, y no la presión total como ocurre con la ósmosis inversa. Al aumentar la temperatura del alimento aumenta la presión de vapor y, por tanto, también aumenta el gradiente de la presión de vapor que es la fuerza impulsora. Desde el punto de vista comercial es una tecnología que no ha sido ampliamente implantada por las siguientes razones:

- La eficiencia térmica del proceso es reducida por las pérdidas de calor por conductividad de las membranas que se producen.
- Se producen efectos de polarización de concentración y temperatura que disminuyen el flujo de permeado a través de la membrana.
- Se produce el efecto wetting que consiste en la penetración de impurezas presentes en el alimento en los poros de la membrana, disminuyendo así el flujo de permeado.

1.7.5 Transformación mediante precipitación de estruvita

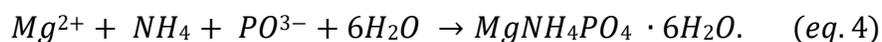
Como se menciona en Etter, Antonini ^[46] la precipitación por estruvita es probablemente el proceso mejor comprendido para la recuperación de nutrientes de la orina separada en la fuente, porque ha sido probado en múltiples proyectos piloto.

La mineral estruvita ($MgNH_4, PO_4, 6H_2, O$) puede precipitarse fácilmente del almacenamiento orina, porque la mayoría de los requisitos (alto valor de pH, alto se dan las concentraciones de amoníaco y fosfato); solo debe agregarse una fuente de magnesio para precipitar casi todo fosfato como estruvita.

La precipitación de estruvita solo toma unos pocos minutos si un magnesio muy soluble se utiliza. Fuentes típicas de magnesio son sales de magnesio como MgO , $MgCl_2$ y $MgSO_4$.

La tasa de disolución de MgO en la orina es ligeramente más lenta que para $MgCl_2$ y $MgSO_4$, pero MgO es sustancialmente más barato. Algunos productos de desecho también son adecuados para las fuentes de magnesio, por ejemplo, avetoro (residuos de salmuera que quedan después de la producción de sal marina) y ceniza de madera. En este último caso, la contaminación con metales pesados y la precipitación de minerales no deseados pueden ser problemáticas.

La estruvita se forma debido a la reacción del Magnesio con el fosfato en presencia de amonio según la ecuación 4



Una sobredosis baja del 10% (es decir 1,1 mol $Mg \cdot mol^{-1} PO_4$) ya es suficiente para precipitar el 95% del fosfato como estruvita, pero la estruvita total la recuperación a menudo está limitada por la eficiencia de la recuperación de cristales, por ejemplo, durante la filtración. Para maximizar la recuperación de fosfato de la orina, el fosfato precipitado espontáneamente en el tanque de recolección debe recuperarse.

2 MARCO LEGAL

El presente trabajo de investigación se verá enmarcado por la Resolución No. 00375 del 27 de febrero de 2004 por la cual se dictan las disposiciones sobre Registro y Control de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en Colombia, es objetivo de la presente Resolución:

a) Orientar la producción, importación, exportación, comercialización, uso y manejo adecuado y racional de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola para prevenir y minimizar daños a la salud humana, la sanidad agropecuaria y el ambiente bajo las condiciones autorizadas y para facilitar el comercio nacional e internacional.

b) Establecer requisitos y procedimientos unificados y armonizados con reglamentaciones internacionales vigentes, para el registro y el control legal y técnico de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola, especialmente en lo relacionado con terminología, clasificación, composición garantizada, rotulado y parámetros para verificación de la conformidad.

Además de esto involucraremos la ley 1955 de 2019. Los animales domésticos y silvestres serán protegidos por el Estado para erradicar en el país toda forma de violencia, crueldad, tráfico y comercio ilegal de estos seres sintientes y garantizar la convivencia armónica y respetuosa en todos los ámbitos en los que se usen dichas especies.

El propósito es establecer los lineamientos en materia de bienestar de animales de granja, animales en situación de calle, animales maltratados y especies silvestres objeto de tráfico ilegal, entre otros. Esto, buscando promover la tenencia responsable, las campañas de esterilización, la creación de centros territoriales de bienestar, rehabilitación y asistencia integral de fauna doméstica y silvestre, fomentando una cultura de respeto por los animales, el Gobierno nacional bajo el liderazgo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con la participación de los ministerios y el Departamento Nacional de Planeación y demás entidades competentes, formulará esa política nacional de protección y bienestar de animales domésticos y silvestres.

3 METODOLOGÍA

Con el conocimiento obtenido bajo la revisión bibliográfica mediante el método de análisis bibliométrico de los avances de investigaciones aplicadas a la producción de biofertilizantes teniendo como materia prima la orina de conejo, se inicia una toma de decisiones con el fin de encaminarse por la ruta más viable teniendo en cuenta metodologías y tecnologías para los aspectos de recolección, sanitización y tratamiento. Sin embargo, antes de efectuar la matriz de selección, se considera importante indagar respecto a los equipos requeridos, las condiciones de operación y los desafíos que presenta cada una de las operaciones para así lograr la decisión más adecuada.

Una vez analizados los beneficios y desafíos de los métodos que posiblemente se van a implementar en cada uno de los tres aspectos a evaluar haciendo referencia a recolección, sanitización y tratamiento se inicia la gestión de las matrices de selección, respectivamente.

En un sistema de producción como es el caso de este proyecto se ven involucradas decisiones en diferentes campos como recursos humanos, equipos, materiales, tecnologías, entre otros, además cabe destacar que la toma de las decisiones debe ser estratégicas ya que afectan la competitividad del producto a largo plazo como es el costo, la calidad y el tiempo. Sin embargo, se entiende que estos criterios serán evaluados bajo un método de ponderación cuantitativa de los medios en función de los respectivos criterios, es decir, que cada matriz consta de tres campos: los criterios que serán mencionados para cada uno de los aspectos a evaluar, además de los medios que se ven involucrados haciendo referencia a los procesos a evaluar y los coeficientes, los cuales serán determinados por los siguientes factores de calificación.

Tabla 1.

Coefficientes de Evaluación Aceptable

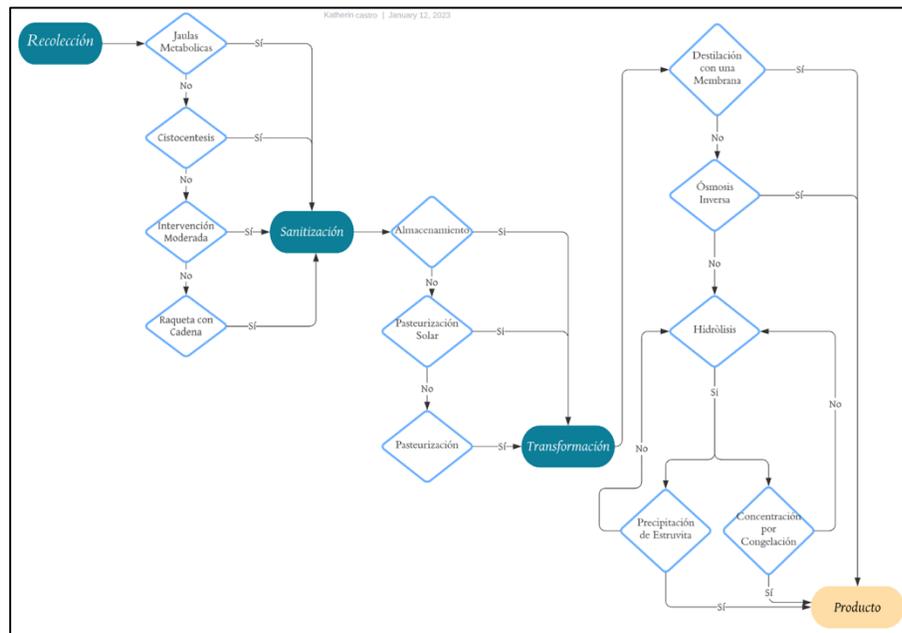
	Muestra	Valor
Perfecto	A	5
Excelente	B	4
Bueno	C	3
Regular	D	2
Aceptable	E	1
Deficiente	F	0

Nota. Escala de valoración para evaluar los criterios en cada matriz de selección

Una vez aclarado los factores de calificación es importante aclarar el proceso metodológico que se pretende implementar, este es indicado mediante el siguiente diagrama de flujo.

Figura 8.

Diagrama de Flujo de Metodología Por Evaluar



Nota. Selección de procesos a aplicar para la obtención del biofertilizante

El proceso inicia con el sistema de selección de la recolección de la orina, este enseña las cuatro posibles metodologías a aplicar y como se observa en el diagrama de flujo si se tiene una respuesta afirmativa a la metodología se dirige al siguiente paso que es la sanitización de lo

contrario se pasa a evaluar la siguiente metodología, este mismo proceso ocurre para la sanitización y la transformación hasta llegar al objetivo principal que es la obtención del producto.

Es importante entender que no es necesario tener una secuencia específica, es decir es posible escoger cualquier metodología en recolección y esto no va a tener consecuencias en sanitización, al igual de sanitización a transformación, sin embargo en la etapa de transformación es necesario aclarar que una vez aplicada la hidrólisis es necesario aplicar alguna de las dos metodologías presentadas en el diagrama.

Al igual que en el marco teórico, se inicia la revisión de beneficios y desafíos, además de la matriz de selección en orden cronológico, por tanto, se dará comienzo en los métodos de recolección de la orina.

3.1 Matriz de Selección en Sistema de Recolección

Para el aspecto de recolección se revisaron cuatro posibles metodologías

3.1.1 Recolección de orina utilizando jaulas metabólicas

El uso de las jaulas metabólicas brinda esencialmente el bienestar de los roedores durante el proceso de recolección de la orina, ya que como se explicó anteriormente, un pilar fundamental en cuanto al rendimiento es evitar el estrés o hacer del desarrollo de la recolección una actividad traumática para los conejos.

Es por esto que las jaulas metabólicas proporcionan un espacio adecuado, simulando una zona abierta, además de tener contacto visual constante con otros conejos. Al mismo tiempo, las jaulas son construidas para separar de forma efectiva las heces y la orina en tubos externos haciendo la separación inmediata y sin contaminación.

Sin embargo, la construcción del suelo de las jaulas metabólicas no debe ser con rejillas o alambre, ya que esto puede llegar a causar dermatitis ulcerativa, esta última característica en las jaulas metabólicas se convierte en un desafío a nivel económico ya que al proponer la producción del biofertilizante a una mayor escala se incrementarán los costos de operación alejándolo de

convertirse en un producto competitivo en el mercado.

3.1.2 Recolección de orina mediante citocinesis

Es un procedimiento mediante el que puede obtenerse orina estéril directamente de la vejiga insertando una pequeña aguja, sin contaminación potencia, siendo la forma “más limpia” de recoger una muestra de orina, ya que se obtiene directamente de la vejiga y estará libre del microbiota habitual de la uretra. No obstante, como se mencionó anteriormente se debe evitar una experiencia traumática para los roedores, debido al rendimiento y la protección e integridad de los animales, además se incluye como desafío la viabilidad para la producción a grande escala

3.1.3 Recolección de orina con intervención moderada

La metodología de recolección bajo intervención moderada consiste en hacer masajes en la región de la vejiga hasta obtener que el conejo expela la orina, lo que sucede cuando el conejo tiene sus músculos totalmente relajados, esta recolección es a escala laboratorio, por tanto, se debe contar con un experto en roedores ya que la presión ejercida en el masaje puede causar daños internos, incomodidad y asfixia.

3.1.4 Recolección de orina bajo sistema de raqueta con cadena

Es un sistema con gran flexibilidad, consiste en la construcción de jaulas basadas en el bienestar y la integridad de los animales como se menciona en las jaulas metabólicas, el diseño de esta cuenta con una inclinación direccionando a tuberías con caída, donde se almacenará la orina en tanques de recolección donde se instalan ciertos tubos que permiten el vaciado de las canales cuando estas están llenas. Este tipo de sistema evita los fenómenos de sedimentación en el interior de las canales. Sin embargo, en este sistema se involucra como desafío la alta probabilidad de contaminación con las heces en la muestra.

Teniendo claridad de los beneficios y desafíos de cada una de las metodologías para el sistema de recolección, se hace la implementación de los siguientes criterios con el objetivo de

tener una evaluación de alto criterio, para eso se asignan pesos acordes a la revisión bibliográfica hecha previamente en el documento.

- Flexibilidad de los recursos el cual involucra materia prima, personal experto y equipos requeridos
- Intensidad de capital el cual envuelve costo de materia prima
- Capacidad el cual comprende si hay viabilidad de implementar este método fuera de una escala laboratorio
- Eficacia se entiende por el tiempo requerido en la operación.

Con el fin de calificar la matriz de recolección se proponen los siguientes coeficientes de evaluación.

Tabla 2.

Coefficientes de Evaluación Aceptable

Muestra		Valor
Perfecto	A	5
Excelente	B	4
Bueno	C	3
Regular	D	2
Aceptable	E	1
Deficiente	F	0

Nota. Escala de valoración para evaluar los criterios en cada matriz de selección

Tabla 3.

Matriz de Selección para Sistema de Recolección

ASPECTO	METODOLOGIA	25% FLEXIBILIDAD DE LOS RECURSOS				25% INTENSIDAD DE CAPITAL		25% CAPACIDAD		25% EFICACIA		TOTAL
		Equipos Requeridos	Personal Experto	Materia Prima	N.P	Costo de Materia Prima	N.P	Viabilidad a grande escala	N.P	Tiempo de Operación	N.P	
	Jaulas Metabólicas	2,00	1,00	2,00	1,25	2,00	0,50	4,00	1,00	3,00	0,75	3,50
	Citocinesis	1,00	0,00	2,00	0,75	1,00	0,25	0,00	0,00	3,00	0,75	1,75

RECOLECCIÓN	Intervención Moderada	4,00	0,00	3,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,50	2,25
	Raqueta con Cadena	4,00	5,00	4,00	3,25	3,00	0,75	5,00	1,25	4,00	1,00	6,25

Nota. Evaluación para cada una de las metodologías presentadas para el sistema de recolección

3.2 Matriz de Selección en Sistema de Sanitización

Para el aspecto de sanitización se revisaron tres posibles metodologías

3.2.1 Sanitización por almacenamiento

El tratamiento consiste en almacenar la orina a una temperatura de 20 °C o superior durante un período de al menos 30 días. Este método requiere de un invernadero y sondas de monitoreo de temperatura lo que indica una gran inversión a nivel económico y de tiempo generando una alta probabilidad de daño de la materia prima, volatilización y pérdida de amonio, sin embargo, se obtiene una alta inactivación de patógenos por el alto pH de la orina y la presencia de amoniaco libre.

3.2.2 Sanitización por pasteurización solar

El tratamiento consiste en calentar lotes de orina en un pasteurizador solar a 70 °C durante 30 minutos, asegurando la destrucción de patógenos y esporas. Aunque el consumo energético en este sistema es amigable con el medio ambiente y disminuye los costos de operación, requiere del diseño de un intercambiador de calor ya que es utilizado en tratamientos de grandes volúmenes.

- Mecanismo de Reacción: Transferencia de calor por convección

3.2.3 Sanitización por pasteurización

Este tratamiento consiste en un proceso tecnológico donde en un pasteurizador mediante el uso de calor se eliminan los patógenos. La pasteurización a aplicar es tipo VAT con una temperatura de [63 -70] °C por 30 minutos, a diferencia de la pasteurización solar esta no requiere refrigeración, sin embargo, este tratamiento exige frecuentes modificaciones ya que no se tiene establecida una temperatura exacta.

Teniendo claridad de los beneficios y desafíos de cada una de las metodologías para el

sistema de sanitización, se hace la implementación de los siguientes criterios con el objetivo de tener una evaluación de alto criterio, para estos se asignan pesos acordes a la revisión bibliográfica hecha previamente en el documento.

- Flexibilidad de los recursos el cual involucra personal experto, equipos requeridos e instalaciones.
- Eficacia se entiende por el tiempo requerido en la operación.
- Impacto ambiental lo que abarca la optimización del equipo y aprovechamiento de los residuos.

Con el fin de calificar la matriz de sanitización se proponen los siguientes coeficientes de evaluación.

Tabla 4.

Coefficientes de Evaluación Aceptable

Muestra		Valor
Perfecto	A	5
Excelente	B	4
Bueno	C	3
Regular	D	2
Aceptable	E	1
Deficiente	F	0

Nota. Escala de valoración para evaluar los criterios en cada matriz de selección

Tabla 5.

Matriz de Selección para Sistema de Sanitización

ASPECTO	METODOLOGIA	40%				35%		25%			TOTAL
		FLEXIBILIDAD DE LOS RECURSOS				EFICACIA		IMPACTO AMBIENTAL			
		Instalaciones	Equipos Requeridos	Personal Experto	N.P	Tiempo de Operación	N.P	Optimización del equipo	Aprovechamiento de los residuos	N.P	
	Almacenamiento	2,00	3,00	5,00	4,00	1,00	0,35	5,00	4,00	2,25	6,60

SANITIZACIÓN	Pasteurización Solar	0,00	0,00	1,00	0,40	3,00	1,05	4,00	4,00	2,00	3,45
	Pasteurización	4,00	3,00	4,00	4,40	5,00	1,75	2,00	3,00	1,25	7,40

Nota. Evaluación para cada una de las metodologías presentadas para el sistema de sanitización

3.3 Matriz de Selección para Transformación

Para el aspecto de tratamiento se revisaron cinco posibles metodologías

3.3.1 Transformación mediante osmosis inversa

La ósmosis inversa es una tecnología de purificación de líquidos que utiliza una membrana semipermeable para eliminar partículas. Aunque es el sistema más eficiente a nivel energético cuenta con dos grandes desafíos

- Debido a que el nitrógeno en la orina almacenada se encuentra principalmente en forma de amoníaco, una parte puede atravesar la membrana en lugar de quedar retenida en el concentrado.
- Las membranas utilizadas son sensibles a la obstrucción por sólidos en la orina, lo que genera un mantenimiento continuo generando un problema en la implantación a escala de edificio.
- Mecanismo de Reacción: Transpiración

3.3.2 Transformación mediante concentración por congelación

Es una técnica en la que congelamos parcialmente la orina hasta que se forman cristales de hielo. Al drenar el líquido descongelado y desechar el hielo, podemos concentrar el fertilizante en un volumen menor de líquido y una alta concentración. El proceso, sin embargo, requiere tiempo y un preciso control de la temperatura para lograr la concentración deseada, además que este procedimiento se debe realizar con orina hidrolizada.

- Mecanismo de Reacción: Transferencia de calor por conducción

3.3.3 Transformación mediante hidrolisis

El procedimiento de la hidrolisis es un pretratamiento fundamental para la congelación por concentración y la precipitación por estruvita, debido a las reacciones que se ven involucradas para

la formación de amonio e hidróxido de amonio, sin embargo, se tiene como obstáculo encontrar la relación molar exacta para la disolución de la orina.

- Mecanismo de Reacción: Transferencia de protones

3.3.4 Transformación mediante una destilación con membrana

Se conoce como un proceso de separación de nutrientes con el objetivo de sintetizar un biofertilizante. En este proceso es incluida la evaporación, proceso que no está limitado por el equilibrio, por lo que se pueden conseguir los factores de recuperación del agua que a comparación de la osmosis inversa no se establece un límite de separación. Sin embargo, desde el punto de vista comercial es una tecnología que no ha sido ampliamente implantada por las siguientes razones:

- La eficiencia térmica del proceso es reducida por las pérdidas de calor por conductividad de las membranas que se producen.
- Se producen efectos de polarización de concentración y temperatura que disminuyen el flujo de permeado a través de la membrana.
- Mecanismo de Reacción: Transferencia de calor por conducción y Transpiración

3.3.5 Transformación mediante precipitación de estruvita

La precipitación por estruvita es probablemente el proceso mejor comprendido para la recuperación de nutrientes de la orina separada en la fuente.

La precipitación de estruvita solo toma unos pocos minutos si un magnesio muy soluble se utiliza. Fuentes típicas de magnesio son sales de magnesio como MgO , $MgCl_2$ y $MgSO_4$. La tasa de disolución de MgO en la orina es ligeramente más lenta, sin embargo es sustancialmente más barato. Es considerado como desafío la relación molar exacta para la precipitación de los nutrientes.

- Mecanismo de Reacción: Oxidación

Teniendo claridad de los beneficios y desafíos de cada una de las metodologías para el sistema de tratamiento, se hace la implementación de los siguientes criterios con el objetivo de tener una evaluación de alto criterio, para estos se asignan pesos acordes a la revisión bibliográfica

hecha previamente en el documento.

- Flexibilidad de los recursos el cual involucra instalaciones, equipos requeridos, personal experto.
- Intensidad de capital el cual envuelve costo de materia prima
- Capacidad el cual comprende la conversión de orina en biofertilizante
- Impacto ambiental lo que abarca la optimización del recurso y el aprovechamiento de los residuos.

Con el fin de calificar la matriz de tratamiento se proponen los siguientes coeficientes de evaluación.

Tabla 6.

Coefficientes de Evaluación Aceptable

Muestra		Valor
Perfecto	A	5
Excelente	B	4
Bueno	C	3
Regular	D	2
Aceptable	E	1
Deficiente	F	0

Nota. Escala de valoración para evaluar los criterios en cada matriz de selección

Tabla 7.*Matriz de Selección para Sistema de Tratamiento*

ASPECTO	METODOLOGIA	25%				25%		10%		15%		25%		TOTAL
		FLEXIBILIDAD DE LOS RECURSOS				INTENSIDAD DE CAPITAL		CAPACIDAD		EFICACIA		IMPACTO AMBIENTAL		
		Instalaciones	Equipos Requeridos	Personal Experto	N.P	Costo de Materia Prima	N.P	Porcentaje de Conversión	N.P	Tiempo de Operación	N.P	Optimización del recurso	N.P	
TRATAMIENTO	Osmosis Inversa	2,00	1,00	5,00	2,00	1,00	0,25	2,00	0,20	3,00	0,45	1,00	0,25	3,15
	Concentración por Congelación	4,00	2,00	5,00	2,75	4,00	1,00	3,00	0,30	3,00	0,45	3,00	0,75	5,25
	Hidrolisis	5,00	5,00	5,00	3,75	4,00	1,00	4,00	0,40	5,00	0,75	4,00	1,00	6,90
	Destilación con una Membrana	2,00	1,00	5,00	2,00	2,00	0,50	2,00	0,20	3,00	0,45	1,00	0,25	3,40
	Precipitación de Estruvita	5,00	5,00	5,00	3,75	3,00	0,75	5,00	0,50	4,00	0,60	4,00	1,00	6,60

Nota. Evaluación para cada una de las metodologías presentadas para el sistema de tratamiento

4 RESULTADOS

4.1 Metodología Óptima para la Producción del Biofertilizante

Una vez los criterios de decisión se evalúan a consideración de los factores propuestos de forma simultánea, se realizan los cálculos pertinentes para cada matriz de selección, donde se obtiene como resultado diferentes valores, cabe aclarar que la metodología con el ponderado mayor es aquella que se implementara en el proceso de producción.

Se tiene en cuenta que el sistema de evaluación es un proceso sistemático de identificación de problemas y solución del mismo, es por esto que la tarea de evaluar y decidir es considerada una de las funciones básicas del investigador, de tal manera se define al investigador como recolector de información útil y observador de posibles alternativas o cursos de acción y por último, elector de resultados según su opinión.

Teniendo claro que la metodología aplicada en el proceso de selección involucra un mecanismo analítico el cual supone un estudio sistemático y una evaluación cuantitativa, se concluye que tanto los coeficientes de evaluación como los pesos para cada uno de los criterios han sido seleccionados bajo la opinión del investigador o en este caso el creador del presente proyecto.

La tabla ocho indica los totales calculados, haciendo la ponderación de las calificaciones para cada criterio y multiplicándolo por el peso indicado, para cada metodología bajo los pesos propuestos por el investigador, estos cálculos se realizan para las tres tablas de selección presentadas.

Los procesos para implementar para cada aspecto, se logra observar que para la recolección se ha seleccionado el sistema de raqueta con cadena, para sanitización una pasteurización y finalmente en el aspecto de tratamiento una hidrolisis complementada por una precipitación de estruvita

Tabla 8.

Resultados de las Matrices de Selección

ASPECTO	METODOLOGIA	TOTAL
RECOLECCIÓN	Jaulas Metabólicas	3,50
	Citocinesis	1,75
	Intervención Moderada	2,25
	Raqueta con Cadena	6,25
SANITIZACIÓN	Almacenamiento	6,60
	Pasteurización Solar	3,45
	Pasteurización	7,40
TRATAMIENTO	Osmosis Inversa	3,15
	Concentración por Congelación	5,25
	Hidrolisis	6,90
	Destilación con una Membrana	3,40
	Precipitación de Estruvita	6,60

Nota. Ponderación total de las metodologías evaluadas para cada aspecto del proceso de producción

4.2 Sistema de Recolección Bajo Raqueta con Cadena

Como se observa en la tabla cinco, Matriz de Selección para Sistema de Sanitización, la metodología seleccionada para el aspecto de la recolección es la elaboración de jaulas con un sistema de raqueta con cadena ya que esta comprende una alta flexibilidad y eficacia, además de caracterizarse por ser la que tiene menor costo a nivel económico en el grupo evaluado, dicho esto se inició el proceso de implementación de jaulas recolectoras en una finca ubicada en Paipa, Boyacá con conejos de especie Nueva Zelanda, esta raza se caracteriza por ser conejos grandes y corpulentos, además de tener una personalidad muy tranquila y apacible, convirtiéndolos en ser la especie conocida a nivel mundial por su carácter relajado y amistoso.

La elección de esta raza de conejo nos brinda una característica fundamental en el proceso de recolección y esta es su serenidad, ya que como se explica anteriormente un pilar fundamental en cuanto al rendimiento de la orina es evitar el estrés o hacer del desarrollo de la recolección una actividad traumática para los conejos. Un factor a resaltar es tener en cuenta que además de la importancia de la raza, así mismo lo es el estado de salud de los conejos es por esto que se realizó un examen visual externo adecuado para así confirmar el estado óptimo de cada uno de ellos.

El diseño de las jaulas está basado en la metodología de raqueta con cadena el cual consiste en un ángulo de caída de 20° para así transferir la orina hacia una dirección única, redireccionando a una manguera con una caída de 90° donde se almacena en un vaso de recolección. Además de esto la jaula cuenta con una malla separadora de heces y orina como se muestra a continuación.

Figura 9.

Jaula Diseñada Para Sistema de Recolección



Nota. Sistema de caída de 90° durante la recolección

Figura 10.

Jaula Diseñada Para Sistema de Recolección



Nota. Malla separadora de materia solida durante la recolección

4.3 Caracterización de la Orina de Conejo

Bajo la recolección de orina implementando este sistema se logró identificar que se obtiene 230 ml en 12 h, en promedio 19,16 ml por hora, estos resultados fueron medidos bajo condiciones de agua y alimento a voluntad, es decir que no se cuantifica el agua, ni la comida consumida por los conejos.

Seguido de la obtención de la orina se decidió realizar un análisis de orina, realizado por la clínica de pequeños animales de la Universidad Nacional de Colombia en la facultad de veterinaria y zootecnia, sede Bogotá con el fin de confirmar la información de la ilustración dos, en este análisis se obtuvo:

Figura 11.

Análisis Químico de Orina en la Especie Nueva Zelanda

Laboratorio Clínico Veterinario Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Sede Bogotá				 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	
FECHA:	02/11/2022	Hx Cx:	SHX	REGISTRO LC:	5023
ESPECIE:	CONEJO	RAZA:	MIX	SEXO:	ND
EDAD:	2 MESES	PROCEDENCIA:	BOGOTÁ	NOMBRE	NR
PROPIETARIO:	KATHERIN CASTRO	DIAGNÓSTICO:	CONTROL		
CLÍNICO/REMITENTE:	NR	ESTUDIANTE:	NR		
<hr/>					
MUESTRA:	ORINA				
UREA (mg/dl):	291,4				
BUN (mg/dl):	136				
MAGNESIO (mg/dl):	21				
CALCIO (mg/dl):	15,3				
FOSFORO (mg/dl):	0,45				

Nota. Elementos medidos en análisis de orina. Tomado de. Laboratorio Clínico Veterinario Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Sede Bogotá

El análisis químico presentado anteriormente se cuantifico mediante una metodología de espectrofotometría y técnicas de fluorescencia, en la tabla seis se identifica la alta cantidad de urea en la orina de los conejos lo que se entiende como una gran ventaja en el momento de la producción de un biofertilizante ya que estos elementos presentan la ventaja de proporcionar un alto contenido de nitrógeno (46%), el cual es esencial en el metabolismo de la planta, en adición se observa un alto contenido de potasio el cual tiene una influencia significativa en la fotosíntesis y el crecimiento como en la calidad de frutas.

Teniendo en cuenta la ilustración dos análisis químico medio de las deyecciones en diversas especies, la cual indica la cantidad por porcentaje de masa en los elementos de interés, se hace una comparación con la tabla seis donde se concluye su semejanza en cuanto a la alta proporción de los elementos principales como son el nitrógeno, el potasio, el magnesio y el calcio, sin embargo en la proporción del fosforo se nota una leve variación siendo mayor la proporción de la ilustración bibliográfica.

4.4 Sistema de Sanitización por Pasteurización

Conociendo los niveles de los elementos requeridos para la transformación de la orina de

conejo en biofertilizante, se da inicio a la segunda fase del proyecto de producción, que hace referencia al aspecto de sanitización el cual comprende la inactivación de patógenos.

La inactivación es necesaria ya que los roedores, también son susceptibles de padecer diferentes enfermedades víricas. Algunas de ellas se pueden transmitir a las personas, lo que se conoce como zoonosis ^[47]. Los principales virus que causan enfermedades zoonóticas se muestran en la tabla tres. Los animales infectados liberan los virus a través de la saliva, la orina y las heces, es por esto que la infección se transmite a las personas principalmente mediante la inhalación de productos originados a partir de las excretas de los roedores infectados, así como por mordeduras ^[48]

Con el objetivo de no causar alguna enfermedad zoonótica tanto a los agricultores como a los consumidores de frutas y vegetales intervenidos con este tipo de biofertilizante se plantearon metodologías de sanitización de las cuales se identifican dos posibles rutas de inactivación de patógenos.

La pasteurización tipo VAT es un proceso donde se expone la orina a una temperatura de 63 °C por 30 minutos eliminando los patógenos en su totalidad; por otra parte se estudian los factores que intervienen en el crecimiento y desarrollo de bacterias, hongos y virus, donde se aclara que un factor fundamental es el pH.

Tabla 9.*Enfermedades zoonóticas*

	Enfermedad	Etiología	Órganos afectados	Lesiones y signos	Transmisión
Víricas	Mixomatosis	Poxviridae	Aparato respiratorio, piel, ojos (párpados, conjuntiva, etc.)	Mixomas en orejas, hocico, párpados	Horizontal directo (nasal, oral, conjuntival) e indirecta (polvo, aerosoles)
	Enfermedad hemorrágica del conejo	Calciviridae	Hígado, aparato respiratorio y sistema nervioso	Hemorragias generalizadas, hipertensión de base, riñones e hígado	El virus es liberado en orina y heces durante semanas. Horizontal directo (fecal-oral) e indirecta (alimentos, agua y utensilios)
Bacterianas	Salmonelosis	Salmonella spp	Aparato digestivo y reproductor	Peritonitis fibrinosa, necrosis multifocal en distintos órganos, abortos, momificación fetal	El virus es liberado en orina y heces durante semanas. Horizonte directo (fecal-oral)

Nota. Cantidad de orina que se logra recolectar en conejos. Tomado de: Ferrian S, Guerrero L, Penadés M, “Cómo se transmiten las enfermedades en conejos y que podemos hacer para evitarlas” *Cunicultura*. Valencia. 2010. Disponible: <https://cunicultura.com/pdf-files/2010/6/5497-como-se-transmiten-las-enfermedades-en-.pdf>

Aunque en la matriz de selección se dio la pasteurización como primera opción en el proceso de inactivación de patógenos, éste no se logró llevar a cabo por la dificultad de la consecución de un pasteurizador, lo que nos lleva a emplear la segunda ruta y se recomienda en un próximo proyecto trabajar esta ruta.

El pH es un factor importante que influye sobre el crecimiento de los microorganismos. Algunas bacterias generalmente crecen a pH bajos (3.0) y los hongos también se desarrollan a pH bajos (1.0). Sin embargo, el rango óptimo de pH para las bacterias va de 6.0 hasta 8.5, pero la mayoría de ellos prefieren un pH ácido ^[49]. Dicho lo anterior se garantiza la eliminación de la mayoría de los patógenos por esta ruta, asegurando la producción del biofertilizante en un pH alcalino. Teniendo este parámetro en cuenta, se entiende la necesidad de un tratamiento para la orina de conejo donde el objetivo es darle un valor agregado, así mismo avalar un producto de alto rendimiento, no nocivo tanto para la tierra como para sus agricultores y consumidores.

4.5 Sistema de Transformación

Para esto se implementó una matriz de selección la cual indica el mejor proceso para el tratamiento final, en esta se logró identificar que la precipitación por estruvita es probablemente el proceso mejor comprendido para la recuperación de nutrientes de la orina.

Sin embargo, este tratamiento cuenta con un pre-requisito el cual es involucrar un proceso de hidrolisis a la orina con el fin de cumplir las reacciones anteriormente expuestas.

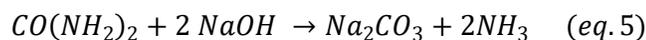
Las reacciones tomadas de bibliografía indican la conversión de Urea en amonio mediante una hidrolisis, lo que nos permite hacer un segundo procedimiento siendo este la precipitación por estruvita partiendo del amonio y el magnesio para la obtención de fosfato inorgánico siendo este el biofertilizante (eq. 4)

La hidrolisis puede llegar a lograrse por medio de dos rutas químicas: hidrolisis enzimática e hidrolisis alcalina.

La hidrolisis enzimática utiliza un proceso denominado ureólisis la urea se hidroliza rápidamente en amoníaco y bicarbonato (eq. 1) seguido de esto a medida que pasa el tiempo se obtiene amonio que es el elemento principal para obtener el precipitado.

Se entiende que, para la aplicación de una hidrolisis enzimática, se requiere de la enzima ureasa la cual actualmente tiene un alto costo en el mercado y su disponibilidad es limitada, por tanto, se analiza una segunda ruta que nos permita la obtención del amonio para llevar a cabo las reacciones sucedidas durante la precipitación por estruvita.

La segunda ruta química se conoce como hidrolisis alcalina donde la hidrolisis reacciona con hidróxido de sodio, ocurriendo la siguiente reacción:



Como bien se observa, la reacción parte de urea, es por esto que se hace inicialmente una práctica de laboratorio con urea comercial con el objetivo de garantizar la conversión de reactivos

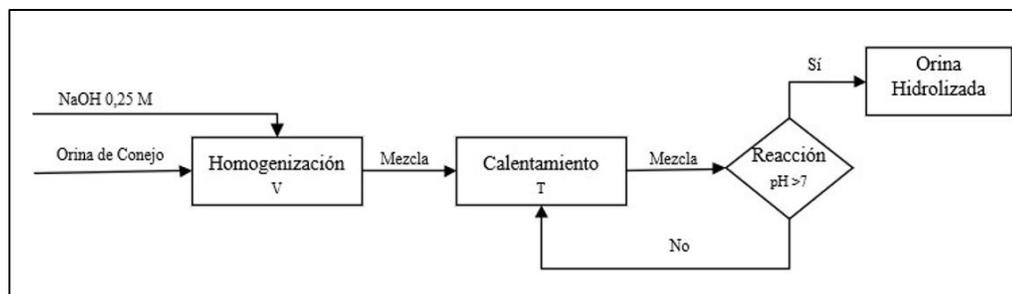
a productos y así posteriormente realizar la prueba con la orina de conejo. Para esta práctica se tuvieron en cuenta los datos de la tabla seis con el fin de simular una solución de urea similar a la orina de conejo

$$\begin{aligned} \text{Orines de Conejo} &\rightarrow \text{Urea} = 291,40 \frac{\text{mg}}{\text{dl}} \\ \text{Urea} &= 291,40 \frac{\text{mg}}{\text{dl}} \cdot \left(\frac{0,01 \text{ dl}}{1 \text{ ml}}\right) \\ \text{Urea} &= 2,91 \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \end{aligned}$$

Con el cálculo anterior se hace una solución de urea con agua siendo 2,91 mg de urea en 1,00 ml de agua, seguido de esto se hidroliza con NaOH de 0.25 M y se expone a calentamiento, este procedimiento se hace en un intervalo de temperaturas [75-95] °C lo cual nos permite identificar la alcalinidad de reacción. Se entiende como reacción en el punto en que el papel indicador muestra un cambio en el pH, se considera que el valor óptimo es 10. Entendido esto y teniendo datos favorables en la reacción de solución de urea con hidróxido de sodio, se implementa la misma practica para la orina de conejo.

Figura 12.

Diagrama de Decisión en Proceso de Hidrólisis



Nota. Pasos requeridos para llevar a cabo una hidrólisis

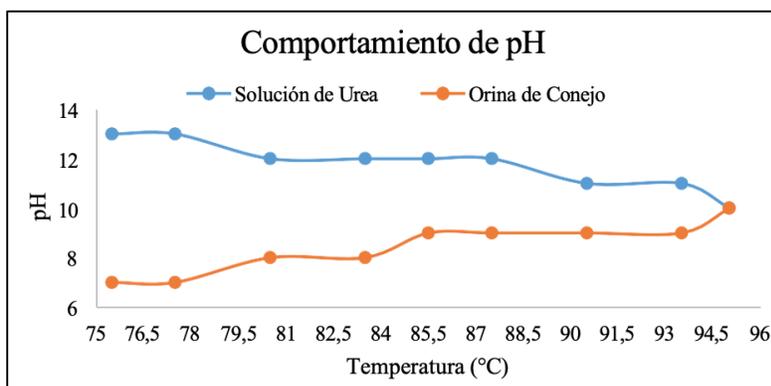
Aplicada la metodología anterior se obtienen los siguientes datos experimentales, tabla 10, tanto para la solución de urea como para la orina de conejo, identificando el pH con respecto a la variación de temperatura ya mencionada.

Tabla 10.
Resultados Experimentales del pH con Respecto a la temperatura

Temperatura (°C)	pH	
	Solución de Urea	Orina de Conejo
75,5	13	7
77,5	13	7
80,5	12	8
83,5	12	8
85,5	12	9
87,5	12	9
90,5	11	9
93,5	11	9
95	10	10

Nota. Datos hallados experimentalmente variando la temperatura con intervalos de dos grados

Figura 13.
Comportamiento del pH con Respecto a la Temperatura



Nota. Grafica comparativa del pH hallado con el cambio de la temperatura

La ilustración 12 demuestra un comportamiento decreciente para la solución de urea y decreciente para la orina de conejo, según datos experimentales y con el fin de discutir el comportamiento de esta ilustración es necesario inicialmente tener claro el pH de las soluciones iniciales en primer lugar tenemos la solución de urea con agua este tiene un valor de 7,40, la orina de conejo un valor de 7,20 y el hidróxido de sodio 13,36.

El comportamiento de la solución de urea muestra una conducta decreciente a medida que la temperatura aumenta, el dato inicial obtiene un pH de 13, este valor se justifica ya que la homogenización de la solución de urea con agua tiene una mayor susceptibilidad al hidróxido de

sodio.

Sin embargo, a medida que aumenta la temperatura se observa su eficiencia en la reacción al alcanzar el pH óptimo, comprobando así la información mencionada en el marco teórica la cual hace referencia a un rango de temperatura optima [95- 130]°C para alcanzar el pH deseado siendo este 10.

Por otra parte, el comportamiento de la orina de conejo muestra una conducta creciente a medida que la temperatura aumenta, el pH obtiene un valor inicial de 7, al igual que se justifica con la urea se entiende que para la orina de conejo hay un menor grado de susceptibilidad. Además, es importante mencionar la presencia del ácido úrico y su importante influencia en el momento de medir pH.

Con los datos experimentales presentados, se concluye que la temperatura óptima para alcanzar el pH deseado es 95°C, sin embargo, en este proyecto no se consideraron temperaturas superiores ya que se presentaron dificultades en el laboratorio por la ausencia del servicio de gas o un equipo de baño maría con la presencia de un aceite.

Teniendo claro la temperatura requerida para que ocurra la reacción de la hidrolisis, se inicia el tratamiento final, la precipitación por estruvita, donde se presenta la reacción (eq. 4) para esta es fundamental la presencia del amoniac y fosfato en los reactivos de la reacción, elementos que se maximizan mediante la hidrolisis, una vez este la presencia de estos elementos se involucra un magnesio soluble, en este caso se experimentó con MgO, de esta manera logrando la formación de la estruvita, también conocida como fosfato orgánico, el cual contiene todos los elementos de valor para el crecimiento de las plantas estos son: magnesio, nitrógeno, fosforo, hidrogeno y oxígeno, para este resultado se consideraron 10000 rpm y 3 min de centrifugado como las condiciones de operación más optimas después de una serie de pruebas.

Una vez se obtuvo el precipitado se realizó un análisis al precipitado de la orina, por la clínica de pequeños animales de la Universidad Nacional de Colombia en la facultad de veterinaria y zootecnia, sede Bogotá con el fin de confirmar la presencia de los elementos requeridos y considerarlo así como biofertilizante.

Figura 14.

Precipitación de Estruvita con Orina de Conejo



Nota. Resultado de la orina precipitada

Figura 15.

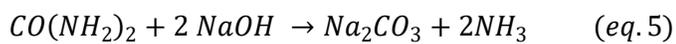
Análisis Químico de Precipitado de Orina Nueva Zelanda

Laboratorio Clínico Veterinario Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Sede Bogotá				 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	
FECHA:	21/11/2022	Hx Cx:	SHX	REGISTRO LC:	5333
ESPECIE:	CONEJO	RAZA:	NUEVA ZELANDA	SEXO:	MACHO
EDAD:	NR	PROCEDENCIA:	NR	NOMBRE:	BLACKY
PROPIETARIO:	KATHERIN CASTRO VALERO	DIAGNÓSTICO:	NR		
CLÍNICO/REMITENTE:	NR	ESTUDIANTE:	NR		
		EXAMEN:	QUÍMICA		
AMONIO (µg/dl):	4600,0				
FOSFORO (mg/dl):	0,2				
CALCIO (mg/dl):	6,6				
MAGNESIO (mg/dl):	12,8				

Nota. Elementos medidos en análisis de orina. Tomado de. Laboratorio Clínico Veterinario Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Sede Bogotá

En la ilustración 13 se observa la alta cantidad de amonio lo que nos indica la eficiencia de la reacción durante el proceso de la hidrólisis, además se evidencia la presencia de los elementos de interés en la reacción de precipitación de estruvita.

Durante el proceso de la hidrólisis, la reacción presente es la siguiente



Según esta reacción se parte de Urea, se hidroliza con hidróxido de sodio para la obtención de amonio, en el momento de realizar los análisis químicos iniciales y finales se evidencio lo siguiente.

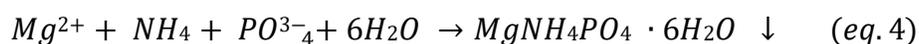
Figura 16.

Comparación de los Elementos Analizados

FECHA:	02/11/2022	FECHA:	21/11/2022
ESPECIE:	CONEJO	ESPECIE:	CONEJO
EDAD:	2 MESES	EDAD:	NR
PROPIETARIO:	KATHERIN CASTRO	PROPIETARIO:	KATHERIN CASTRO VALERO
CLÍNICO/REMITENTE:	NR	CLÍNICO/REMITENTE:	NR
MUESTRA:	ORINA	MUESTRA:	ORINA
UREA (mg/dl):	291,4	AMONIO (µg/dl):	4600,0
BUN (mg/dl):	136	FOSFORO (mg/dl):	0,2
MAGNESIO (mg/dl):	21	CALCIO (mg/dl):	6,6
CALCIO (mg/dl):	15,3	MAGNESIO (mg/dl):	12,8
FOSFORO (mg/dl):	0,45		

Nota. Elementos medidos en análisis de orina. Tomado de Laboratorio Clínico Veterinario Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Sede Bogotá

Se inicia con 291,40 mg/dl lo que llega a convertirse en 4600,00 mg/dl lo que nos indica una alta conversión y eficiencia en la reacción de hidrolisis alcalina. Además se demuestra la presencia de los elementos presentes en la siguiente ecuación



El producto de esta reacción se conoce como fosfato orgánico, este nombre se le da ya que una vez precipitada la estruvita se presenta en pequeños cristales que se puede aplicar a los cultivos directamente como fertilizante, sin ningún proceso de adición de sales o bases sintéticas. Sin embargo, el producto obtenido mediante la precipitación requiere de una determinación molar con el fin de tener total seguridad de la composición del producto obtenido y si se puede llegar a considerar fosfato orgánico.

Como se había mencionado en el marco teórico el fosfato es muy versátil y puede llegar a utilizarse en diferentes suelos.

Sin embargo, se puede encasillar específicamente en suelos de especie leguminosa, ya que este tipo de biofertilizantes alcalinos con la humedad del suelo reaccionan de forma acida.

4.6 Marco Regulatorio en Colombia

Es importante tener claridad de si el producto obtenido es considerado como biofertilizante, para esto se hace revisión del marco regulatorio en Colombia, regido por el Instituto Colombiano Agropecuario el cual afirma.

“No requerirán de ensayos de eficacia los fertilizantes compuestos (NPK) de aplicación al suelo, formulados con base en fuentes reconocidas de nutrientes y desarrollados de acuerdo con los requerimientos nutricionales de los cultivos en las diferentes regiones del país; ni las fuentes simples de nutrientes principales, secundarios o micronutrientes, ni los acondicionadores de suelos obtenidos a partir de fuentes ampliamente conocidas”

Lo anterior nos permite comprender que no es necesario hacer pruebas de eficacia ya que la fuente del biofertilizante es conocida, además de esto los compuestos han sido evaluados a nivel laboratorio.

Por otro lado, el Instituto Colombiano Agropecuario no tiene expuesto públicamente la composición exacta y los parámetros por los que se debe regir un biofertilizante es por esto por lo que se recomienda solicitar los formatos de registros de fertilizantes ante el ICA con el objetivo de llegar a una determinación exacta del producto.

4.7 Impacto económico y ambiental del biofertilizante

Ya que se logró demostrar la viabilidad de la producción de un biofertilizante aprovechando la orina de conejo, se busca explicar sus grandes ventajas como es el bajo costo respecto a los fertilizantes químicos, convirtiéndose en una opción viable y accesible para los pequeños y medianos productores que buscan incrementar los rendimientos de sus cultivos.

El bajo costo se debe a que el biofertilizante producido es una alternativa que no depende de las fluctuaciones del mercado o la cotización del petróleo, ya que según estudios económicos los fertilizantes compuestos han tenido un aumento en el mes de abril del presente año del 14,9% a nivel productor-importador, además, la producción del biofertilizante se basa en el aprovechamiento de un residuo lo que nos caracteriza como un producto que aplica los principios de diseño verde como es implementar un producto al mercado que utiliza como materiales amigables con el medio ambiente, renovables, analiza los impactos generados al suelo y agua, minimiza el potencial por accidentes, etc.

Como se mencionó los fertilizantes químicos son dependientes de la cotización del petróleo esto se debe a que la producción de estos requieren una enorme cantidad de energía de combustible fósil, dicho esto se entiende que los biofertilizantes además de contribuir a la implementación de una solución efectiva y menos costosa, muestra una mitigación del cambio climático evitando el impacto generado por la producción de fertilizantes químicos, así mismo como la regulación de algunas plagas que pueden ser estimuladas por la excesiva presencia de nutrientes como el nitrógeno, causando altos impactos negativos sobre el agua y el suelo como son la eutrofización y la variación del pH respectivamente, impactos que el biofertilizante no llegara a causar debido a su composición y al tratamiento que se mostró anteriormente con el fin de alcanzar una alcalinización óptima.

5 CONCLUSIONES

La orina de conejo es una sustancia rica en urea (291,40 mg/dl), fosforo (0,45 mg/dl) y potasio (136 mg/dl), además de tener presencia de los microelementos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, como son el magnesio, calcio y fosforo.

La metodología óptima para producir biofertilizante con el aprovechamiento de la orina de conejo es desarrollar una recolección con sistema raqueta de cadena, una sanitización mediante la pasteurización y finalmente aplicar hidrolisis y precipitación por estruvita.

Las jaulas diseñadas para la recolección con sistema raqueta con cadena tienen una inclinación de 20° en la misma dirección y una caída de 90°, además de contar con una malla separadora de materia seca y líquida.

La temperatura óptima para la orina de conejo durante el proceso de hidrolisis es 95 °C.

Las condiciones de operación óptimas durante el proceso de centrifugado en la metodología de precipitación por estruvita son 10000 rpm y 3 min.

El biofertilizante producido juega un papel importante en el impacto económico ya que no depende de la fluctuación del mercado internacional, aprovecha residuos, disminuye la dependencia y puede convertirse en una producción competitiva de fertilizantes.

El uso del biofertilizante basado en el aprovechamiento de la orina de conejo disminuye su presencia en afluentes, disminuyendo la eutrofización y la variación del pH en los suelos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Tranfield, D, “*Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review,*”, vol. 14, no. 3, 2003.
- [2] M. Flores González, A Muñoz Juárez “Evaluación de urea extraída a partir de orina de conejo como fertilizante en semillas de trigo” Tlaxcala 2020. Disponible en. http://congresos.cio.mx/8_enc_mujer/FE%20DE%20ERRATAS/S3-BCA29.pdf
- [3] Khanzada, A.; Ali, M.; Hussain, B.; Rajput, A.; Hussain, F. and Ali, U. “*Evaluating right timing splitting nitrogen application rates for enhanced growth and yield of sunflower*”. Euro Academic, 2016.
- [4] P. González. Environmental impacts of phosphorus recovery from a “product” Life Cycle Assessment. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Disponible en. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- [5] P. González. Environmental impacts of phosphorus recovery from a “product” Life Cycle Assessment. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Disponible en. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- [6] S. Uribe Pérez, “Agroquímicos envenenan suelos en Colombia”, *Unimedios*, vol. 172, noviembre de 2013. Disponible en. https://unperiodico.unal.edu.co/fileadmin/user_upload/UNPeriodico172.pdf.
- [7] A. Briceño, “Importación de agroinsumos eleva precios de alimentos” *Revista Dinero*. Mayo 4 de 2016. Disponible en. <http://www.dinero.com/pais/articulo/colombia-compra-fertilizantes-importados-pararegular-precios-internos/209754>
- [8] A. Briceño, “Importación de agroinsumos eleva precios de alimentos” *Revista Dinero*. Mayo 4 de 2016. Disponible en. <http://www.dinero.com/pais/articulo/colombia-compra-fertilizantes-importados-pararegular-precios-internos/209754>
- [10] S. Uribe Pérez, “Agroquímicos envenenan suelos en Colombia”, *Unimedios*, vol. 172, noviembre de 2013. Disponible en. https://unperiodico.unal.edu.co/fileadmin/user_upload/UNPeriodico172.pdf.
- [11] Machado A, Ruíz M, Sastre M, Butinof M, “Exposición a plaguicidas, cuidado de la salud y subjetividad”. *Revistas Científicas de América Latina y el Caribe*. Enero 2012.

- [12] M. Flores González, A Muñoz Juárez “Evaluación de urea extraída a partir de orina de conejo como fertilizante en semillas de trigo” Tlaxcala 2020. Disponible en. http://congresos.cio.mx/8_enc_mujer/FE%20DE%20ERRATAS/S3-BCA29.pdf
- [13] W. S. Green, “Uso de la orina humana como fertilizante en la producción de lechuga Waldmann Green”, *Revista de la Biosfera Selva Andina*. Virginia Vol. 3. Mayo 2015. Disponible en. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5114753>
- [14] J. C. Pérez Gómez, “Diseño de modelo de recolección y procesamiento de la orina humana para ser utilizada como fertilizante”, Trabajo de grado, Fundación Universidad de América, Bogotá. D. C. Febrero de 2017. Disponible en. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/869/1/3092196-2017-1-II.pdf3>
- [15] E. J. Morales, “Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización de cultivos anuales”, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 10, Octubre de 2019. Disponible en. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342019000801875&script=sci_arttext
- [16] J. L. Pérez Amores. “Análisis tecnológico de la sección de síntesis en la planta de producción de UREA a instalarse en la provincia de Cienfuegos”, Tesis, departamento de ingeniería química, Universidad Central, 2012. Disponible en. <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/2238/Tesis%20ok%20JL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [17] T. Pariona, “Efecto de la orina humana enriquecido con microorganismos benéficos en el rendimiento de la cebolla”, Tesis, departamento de ciencias agrarias, Universidad nacional de Huancavelica, Perú 2018, Disponible en <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2957/TESIS-2018AGRONOM%c9%8dAPARIONA%20IRCA%c3%91AUPA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [18] L.J. Del Valle Medina. M.C Espinosa Chávez. “Efecto de la relación Mg para recuperar nitrógeno en forma de estruvita a partir de orina humana tratada en un biorreactor LFI”, Tesis, departamento de ingeniería ambiental, Universidad del Mar, 2017. Disponible en. <http://coralito.umar.mx:8080/Tesis/files/original/a6226ae4ab86ef51de7f073be5f20.pdf>
- [19] M. Rueda Morales. “Use of urine as a source of nutrients in agriculture”. *Edición especial. Movilidad Estudiantil* 2019. Disponible en. https://181.193.125.13/index.php/tec_marcha/article/view/4567/4714
- [20] K. Udert, C. Buckley, M. Wächter, C. McArdell, T. Kohn, L. Strande, H. Zöllig, A. Fumasoli,

- A. Oberson and B. Etter, “Technologies for the treatment of source-separated urine in the eThekweni Municipality,” *SciELO*, vol. 41, 2014.
- [21] Institute Rich Earth. “What treatment is needed to produce a safe and useful fertilizer” 18 de Abril 2015. Disponible en. <https://ricearthinstitute.org/publications/our-research-results/>
- [22] Institute Rich Earth. “What treatment is needed to produce a safe and useful fertilizer” 18 de Abril 2015. Disponible en. <https://ricearthinstitute.org/publications/our-research-results/>
- [23] Cantarella, R. H.; Otto, J.; Aijânio, R. S. and Brito, Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor. *Euro Academic*. 2018. Disponible en. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342019000801875&script=sci_arttext#B18
- [24] Félix, “Tendencias actuales de los fertilizantes y perspectivas para 2016”. *C. Agro*. Vol. 40 *Euro Academic*. B. E. I. 2013. Disponible en. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342019000801875&script=sci_arttext#B18
- [25] R. Lora Silva, “Contaminación por elementos menores y posibles soluciones”, *Revista U.D.C.A*, Vol. 10. 2007. Disponible en [https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/559/477#:~:text=Dentro%20de%20los%20elementos%20esenciales,%20y%20cloro%20\(Cl\).](https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/559/477#:~:text=Dentro%20de%20los%20elementos%20esenciales,%20y%20cloro%20(Cl).)
- [26] M. Zaman, S. Adhinarayanan, C. Nguyen. “Effects of urease and nitrification inhibitors on the efficient use of urea for pastoral systems”. *Soil Sci. Plant Nutr*. Vol. 4. 2013.
- [27] F. Peña, C. J. Pérez, “Desnitrificación de un fertilizante de lenta liberación y urea + fosfato monoamónico aplicados a trigo irrigado con agua residual o de pozo”. *Rev. Int. Contam. Ambient*. Vol. 23. 2017. Disponible en. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242020000100223
- [28] L.G. Hernandez Montiel, M.A. Escalona, “Microorganismos que benefician a las plantas: las bacterias PGPR”. *Rev. Div. Científica*. Vol. 16. 2003. Disponible en <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol16num1/articulos/microorganismos/micro.htm#:~:text=Kloepper%20defini%C3%B3%20en%201978%20a,incrementar%20su%20tolerancia%20a%20otros.>
- [29] A. González Mancilla, M.C Rivera Cruz, C.F Ortiz, “Uso de fertilizantes orgánicos para la mejora de propiedades químicas y microbiológicas del suelo y del crecimiento del cítrico” *Rev. U. Cien*. Vol. 29. 2013. Disponible en.

- https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792013000200003
- [30] S.I García y J. Lazovski, “Guía de Uso Responsable de Agroquímicos”. 1ra ed. Ministerio de Salud de la Nación. Programa Nacional de Prevención y Control de las Intoxicaciones. Buenos Aires. 2011
- [31] Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, 2020, “Toxicidad de productos fitosanitarios”, Disponible en. <https://www.casafe.org/toxicidad-de-los-productos-fitosanitarios/>
- [32] S. Savci, “*Investigation of effect of chemical fertilizers on environment*”. Apcbee Procedia, 2012.
- [33] A.S. Aluja, “Bienestar animal en la enseñanza de medicina veterinaria y zootecnia” *Rev. Div. Científica*. Vol. 42, junio 2011. Disponible en. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S030150922011000200004
- [34] M. Góngora Medina, “Reconocimiento y manejo del estrés, sufrimiento y dolor en animales de laboratorio” *Rev. Div. Científica*. Vol. 17, diciembre 2010. Disponible en. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-43812010000200008
- [35] K.G Benson, P. Murphy J. “Acquisition and interpretation of samples”. Thesis. Clinical pathology of the domestic rabbit The Veterinary Clinics of North America. 1999
- [36] K. Boers, G. Gray, J. Love, Z. Mahmutovic, S. McCormick, N. Turcotte, “*Comfortable quarters for rabbits in research institutions*”. 9th ed. Washington DC: Animal Welfare Institute (Reinhardt V, Reinhardt A, eds). 2002
- [37] J.S Garvey, B.L. Aalseth “Urine collection from newborn rabbits”, *Laboratory Animal Science* Vol. 21, 739, Agosto 1971
- [38] J. Bailey. “Sustainable fertilizer from reclaimed urine: A farm-scale demonstration for production”, *Rev. Sus. Agr.* Vol. 13, 2020. Disponible en. <https://projects.sare.org/project-reports/one13-188/>
- [39] D.R. Delgado, C.P Ortiz, J.D Rodríguez. “Pasteurizador solar para la contaminación microbiológica del agua” III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible, Chiriquí, Panamá, 2018, 7, Disponible en. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1790/2581>
- [40] Institute Rich Earth. “What treatment is needed to produce a safe and useful fertilizer” 18 de Abril 2015. Disponible en. <https://richearthinstitute.org/publications/our-research-results/>

- [41] E. Bonilla Zavaleta, “Concentración por congelación y determinación de propiedades fisicoquímicas, Tesis, Universidad Veracruzana, Xalapa, 2005. Disponible <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46778/BonillaZavaletaEnrique.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- [42] E. Bonilla Zavaleta, “Concentración por congelación y determinación de propiedades fisicoquímicas, Tesis, Universidad Veracruzana, Xalapa, 2005. Disponible <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46778/BonillaZavaletaEnrique.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- [43] E. Bonilla Zavaleta, “Concentración por congelación y determinación de propiedades fisicoquímicas, Tesis, Universidad Veracruzana, Xalapa, 2005. Disponible <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46778/BonillaZavaletaEnrique.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- [44] E. Bonilla Zavaleta, “Concentración por congelación y determinación de propiedades fisicoquímicas, Tesis, Universidad Veracruzana, Xalapa, 2005. Disponible <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46778/BonillaZavaletaEnrique.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- [45] M. Sánchez Lázaro, “Recuperación de fosforo de orina separada en origen mediante precipitación de estruvita”, Trabajo de grado, departamento de Ingeniería Química, Universidad de Cantabria, 2017. Disponible en. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14216/409507.pdf?sequence1>
- [46] Máryeluz Rueda-Morales, “Aprovechamiento de la orina como fuente de nutrientes en la agricultura” *Rev. Tecnología en marcha*. Costa Rica. Vol. 6, 2019. Disponible en. https://181.193.125.13/index.php/tec_marcha/article/view/4567/4714
- [47] Ferrian S, Guerrero L, Penadés M, “Cómo se transmiten las enfermedades en conejos y que podemos hacer para evitarlas” *Cunicultura*. Valencia. 2010. Disponible en. <https://cunicultura.com/pdf-files/2010/6/5497-como-se-transmiten-las-enfermedades-en-conejos-y-que-podemos-hacer-para-evitarlo.pdf>
- [48] Ferrian S, Guerrero L, Penadés M, “Cómo se transmiten las enfermedades en conejos y que podemos hacer para evitarlas” *Cunicultura*. Valencia. 2010. Disponible en. <https://cunicultura.com/pdf-files/2010/6/5497-como-se-transmiten-las-enfermedades-en-conejos-y-que-podemos-hacer-para-evitarlo.pdf>

[49] J. Cervantes Martínez, R. Orihuela Equihua, “Acerca del desarrollo y control de microorganismos” *Rev. Con Ciencia Tecnológica*. México Vol. 54, 2017. Disponible en. <https://www.redalyc.org/journal/944/94454631001/ht>

ANEXOS

ANEXO 1.

RECOMENDACIONES

Una vez se implemente este proceso a escala piloto se requiere evaluar los costos energéticos y los costos de equipos asociados al proceso para establecer su factibilidad económica.

Por otra parte, durante el proceso de sanitización inicialmente se consideró el uso de un pasteurizador para la inactivación de patógenos, sin embargo, éste no se logró llevar a cabo por la dificultad de la consecución de un pasteurizador. Se recomienda evaluar esta técnica en un futuro trabajo de investigación. En adición, durante el proceso de sanitización se llegó a considerar el uso de un pasteurizador solar, sin embargo, este se encuentra aún en investigación, se recomienda evaluar esta técnica dentro del proceso de producción del biofertilizante.

Finalmente se recomienda hacer determinación molar de la estruvita con el fin de confirmar los resultados obtenidos.