



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA

**Diseño y construcción de un biodigestor tubular continuo para la obtención de biol a partir de residuos fecales caninos de la Fundación Acción Animal,
Pintag – Ecuador**

Autor: López Artieda, Paulina Mireya

Director: Vargas Verdesoto, Rafael Eduardo M.Sc.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2021



Antecedentes

Con el objetivo de implementar la tecnología de biodigestión para contribuir a frenar la contaminación ambiental, muchos países están utilizando este tipo de tratamientos con residuos agrícolas e incluso municipales.

Dos beneficios:

- Disposición y manejo adecuado de residuos
- Obtención y aprovechamiento de productos resultantes como fuentes de energía



Concepto de *desarrollo sostenible* en el marco de las Naciones Unidas, 1987

Antecedentes

AMÉRICA LATINA

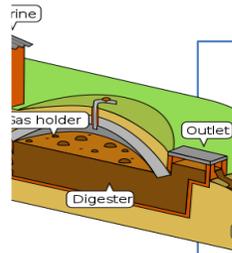
- Mayor difusión en la actualidad (Chile, Colombia, Cuba, Bolivia).
- Más aplicaciones de los productos obtenidos de la biodigestión.

ECUADOR

- Varios proyectos apoyan el uso de biodigestores sobretodo en los ámbitos agrícola y ganadero, en su mayoría pequeños y medianos productores
- Los biodigestores tubulares son los más utilizados por su bajo costo de instalación y fácil manejo



Biodigestores



Sistema que produce biogás y fertilizante a partir de materia orgánica



Su función es comparable con el sistema digestivo animal, en el cual la materia orgánica consumida es digerida por bacterias

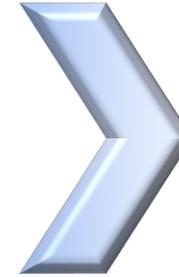


Como resultado se produce gas y subproductos líquidos con gran contenido de nutrientes.

Biodigestores tubulares

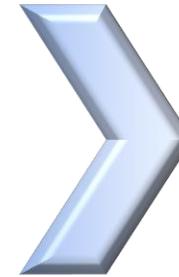


Digestores tubulares fabricados en polietileno



disminución de costos y eficiencias considerables

Más sencillos de instalar y más baratos de construir

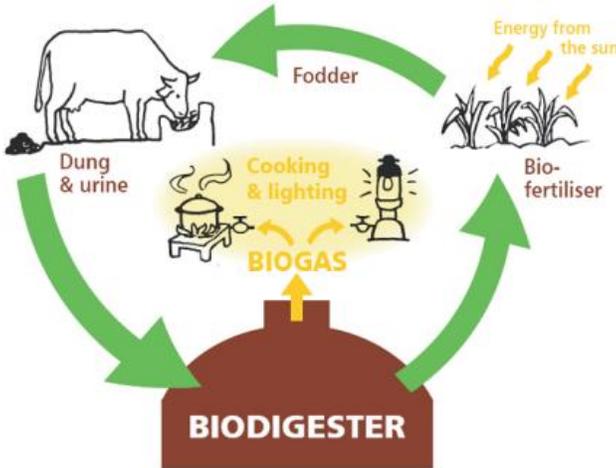


Beneficio para el sitio en donde se construyen

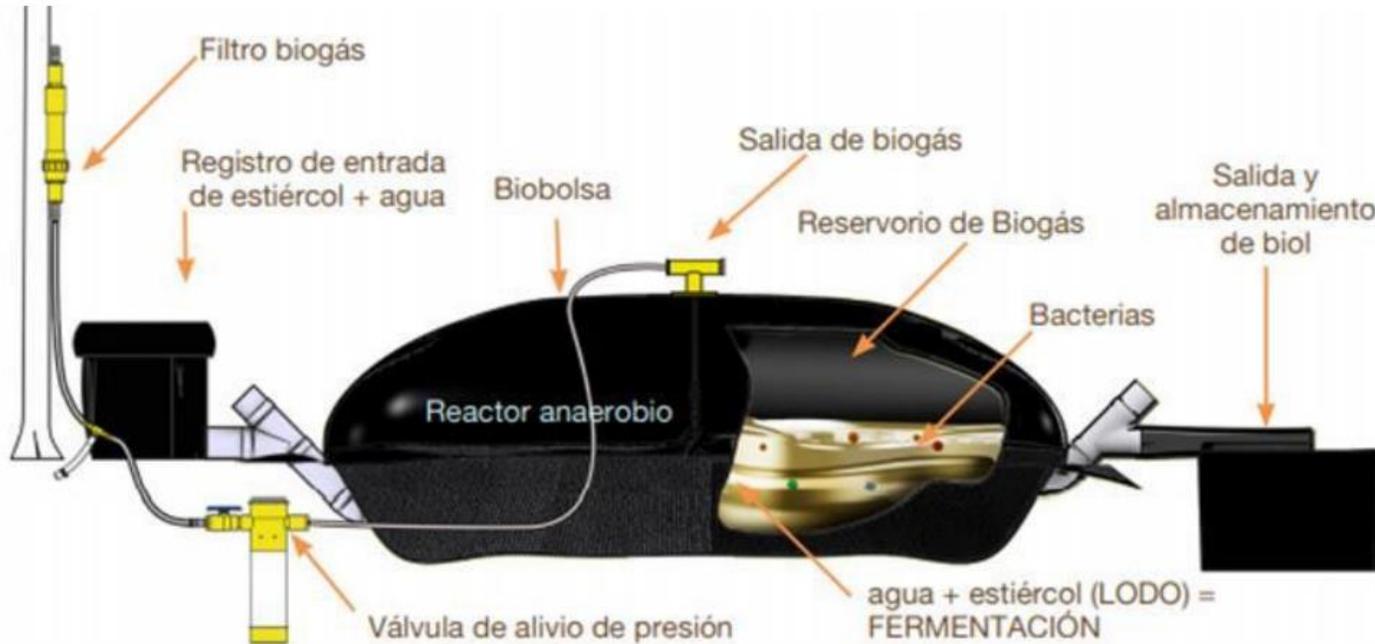
Tecnología de flujo pistón



Flujo continuo



Parámetros operacionales del biodigestor



Temperatura



pH



Sólidos totales y volátiles



Nutrientes y Relación C/N



Tiempo de retención TR



**Sustancias
Perjudiciales**

Digestión Anaeróbica

HIDRÓLISIS

Bacterias hidrolíticas

Peptostreptococcus,
Micrococcus, Bacteroides

ACIDOGÉNESIS

Bacterias Acidogénicas

Propionibacterium, Clostridium

ACETOGÉNESIS

Bacterias homoacetogénicas

Clostridium aceticum,
Acetobacterium woodii

METANOGÉNESIS

Bacterias metanogénicas

Methanobacteria, Methanococci,
Methanosarcinales

Materia orgánica compleja
(carbohidratos, proteínas, grasas)

HIDRÓLISIS

Moléculas orgánicas solubles
(azúcares, aminoácidos, ácidos grasos)

ACIDOGÉNESIS

Ácidos grasos volátiles

Alcoholes

Ácidos orgánicos

ACETOGÉNESIS

Ácido acético
Hidrógeno (H₂)
Dióxido de carbono (CO₂)

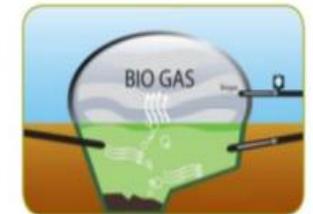
METANOGÉNESIS

• Acetoclástica
• Hidrogenotrófica

Principales gases:

• Dióxido de carbono (CO₂)
• Metano (CH₄)

BIOFERTILIZANTES



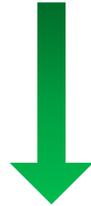
Biol

Subproducto derivado de la digestión anaerobia de la biomasa, es rico en macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.

Fitoregulador de crecimiento (fitohormonas) aceleran crecimiento del follaje e induce a la floración y fructificación.

Fertilizante en suelos pobres en nutrientes.

**PRODUCTO
ORGÁNICO**



N de la materia orgánica en amonio, el cual es una forma de molécula más estable



Planteamiento del problema



Cambio climático

Debido al excesivo uso de combustibles fósiles



Gases de efecto invernadero

GEI emisiones CO₂ (50%), CH₄(18%) y N₂O (6%) a nivel mundial



Contaminación ambiental

Contaminación de fuentes hidrográficas y suelos



Agricultura

Uso de fertilizantes químicos que erosionan los suelos, contaminan el agua y el aire



Impacto económico

Economía de pequeños y medianos productores locales



Soluciones



Desarrollo sostenible

Equilibrio entre crecimiento económico, inclusión social y protección del medio ambiente



Desarrollo de nuevas tecnologías

Mitigar el impacto de la actividad humana en la naturaleza



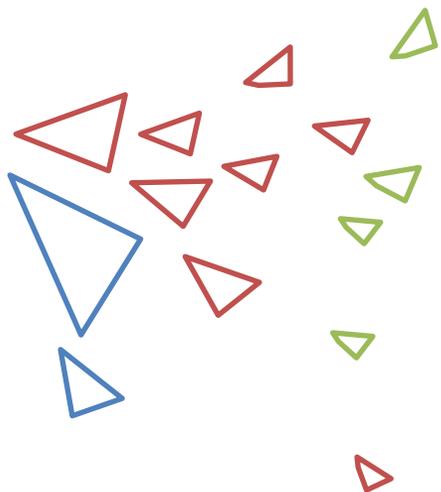
Biodigestores

Gestión de residuos y generación de energía limpia



Objetivo General

Diseñar y construir un biodigestor tubular continuo para obtener biol a partir de residuos fecales caninos de la Fundación Acción Animal en Pintag – Ecuador.



Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de diseño del biodigestor según la carga de heces fecales diarias, cantidad de animales y condiciones del lugar.
- Construir el biodigestor tubular continuo con el material y protección adecuados a partir de la carga de heces fecales.
- Analizar la calidad microbiológica y de pH del biol obtenido del proceso de digestión, según la normativa Ecuatoriana de fertilizantes orgánicos, para garantizar la ausencia de patógenos y el óptimo funcionamiento del biodigestor.

El biodigestor tubular continuo alimentado con heces fecales de perros produce un biol de buena calidad microbiológica según la Normativa Ecuatoriana para fertilizantes orgánicos.



Localización Geográfica

El proyecto de investigación se implementó en las instalaciones del Refugio para rescate de perros de la Fundación Acción Animal, ubicado en la parroquia Pintag, sector de Yurac, cantón Quito, provincia Pichincha, Ecuador.

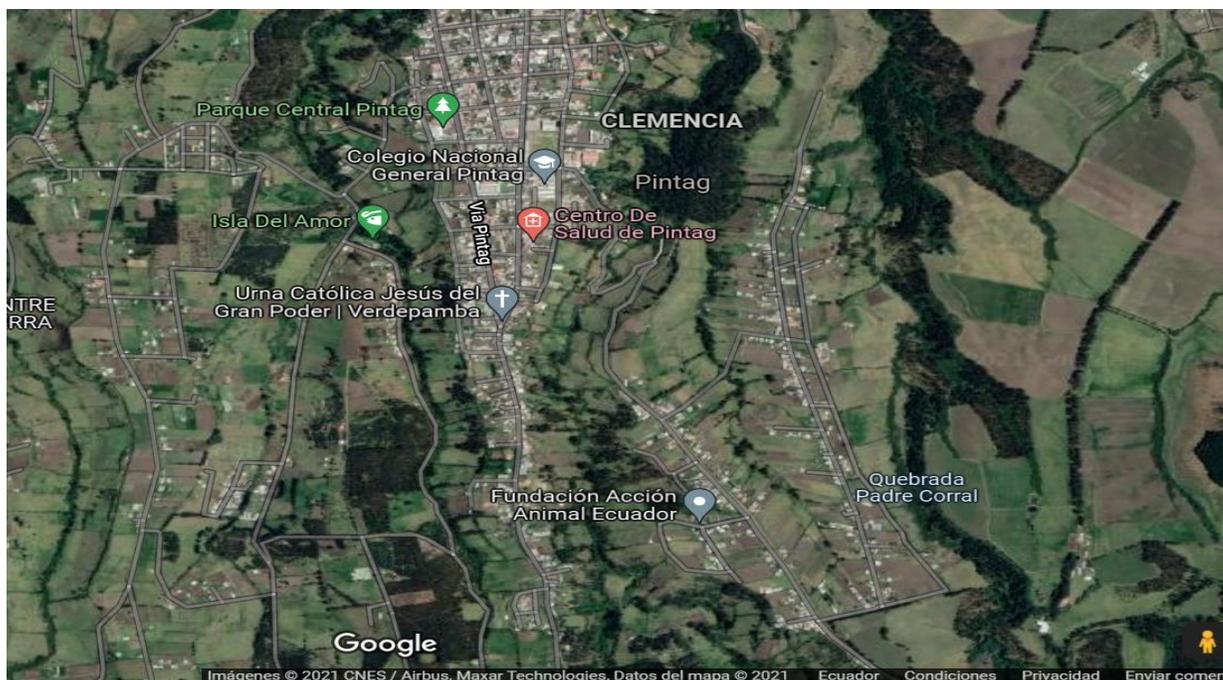


Figura 1. Perros rescatados que viven en el Refugio

Dimensionamiento del biodigestor

- ➔ Tiempo de retención TR = 55 días
- ➔ Dimensiones de la manga plástica = 2m ancho
- ➔ Dimensiones de la zanja
- ➔ Volumen líquido del biodigestor $VL = TR \times CD$

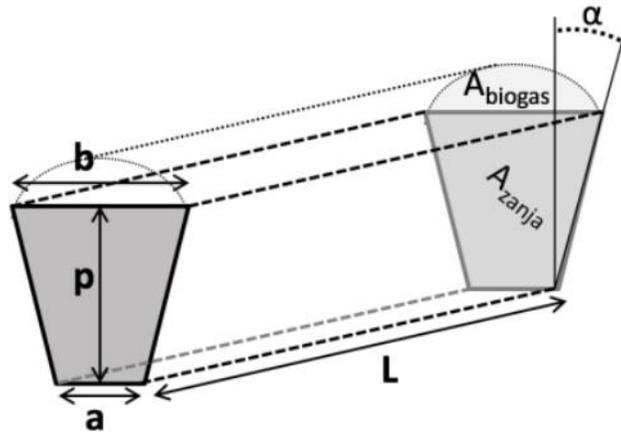


Figura 2. Esquema de una zanja trapezoidal (Martí, 2019)

TEMPERATURA	TIEMPO DE RETENCIÓN (TR)
35 °C	25-30 días
30 °C	30-40 días
25 °C	35-50 días
20 °C	50-65 días
15 °C	65-90 días
10 °C	90-125 días

Tabla 1. Relación entre temperatura y tiempo de retención (Martí, 2019).

α°	C (m)	D (m)	r (m)	a (m)	b (m)	p (m)	A_{zanja} (m ²)	L (m)	L/D
15	4	1.28	0.64	0.65	1.16	0.95	0.87	10	7.81

Tabla 2. Valores de las dimensiones de la zanja determinados para el estudio (López, 2021).

Determinación de la carga diaria (CD)

→ Peso de producción de heces por caniles durante 3 días

0,3613 Kg de heces por perro
62,142 Kg de heces diarios

172 perros



Figura 3. Pesado de heces recolectadas

Determinación del porcentaje de humedad en las heces (método casero)



Figura 4. Pesado de muestra en balanza

$$\%H_2O = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} * 100$$

P₁= (peso del crisol vacío)

P₂= (peso del crisol con la muestra húmeda)

P₃= (peso del crisol con la muestra seca)

Cálculo de la mezcla necesaria heces/agua

Porcentaje adecuado
de Sólidos Totales

3 – 16%

→ 7,5 % ST

Tabla 2. Cantidades de material a utilizar



Construcción del Biodigestor



Figura 5. Preparación del terreno para la zanja



Figura 6. Excavación de la zanja con ayuda de maquinaria



Figura 7. Armado del biodigestor

Construcción del Biodigestor



Figura 8. Proceso de inflado



Figura 9. Biodigestor inflado colocado en la zanja



Figura 10. Llenado de agua para sello hidráulico

Construcción del Biodigestor



Figura 11 y 12. Adaptación de la entrada y salida

Figura 13 y 14. Construcción de la cubierta del biodigestor



Porcentaje de ST requerido = 7,5%



Dilución necesaria = 1:3

Figura 15. Preparación de la mezcla de heces/agua para cargar diariamente al biodigestor

Análisis de la composición del biol producido

Análisis de Laboratorio

Determinación del contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio

- El nitrógeno presente en la muestra de biol se determinó mediante el método de Volumetría APHA 4500 Norg C como NTK (Nitrógeno Total Kjeldahl).
- El contenido de fósforo total de la muestra de biol se determinó mediante Espectrofotometría APHA 4500-P B y E.
- El contenido de potasio presente en la muestra de biol se determinó mediante el método de Absorción Atómica – Llama.

Determinación de sólidos totales

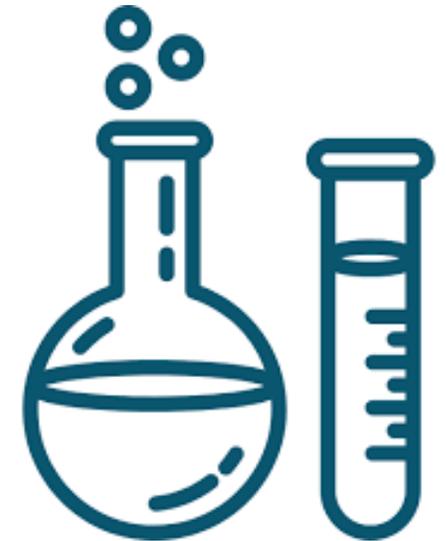
- El contenido de ST en la muestra de biol se determinó mediante Gravimetría APHA 2540 B.

Análisis microbiológico del biol producido

- Para determinar la ausencia o presencia de los mencionados microorganismos se utilizó la técnica del Número más probable NMP.

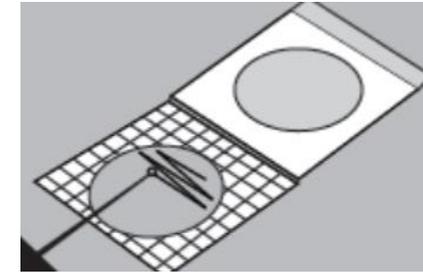
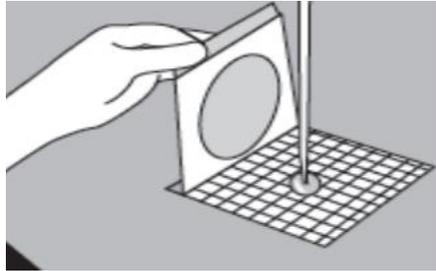
Determinación del pH

- Para la determinación del pH del biol obtenido en el biodigestor se utilizaron tiras medidoras de pH.



Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico se hicieron pruebas rápidas de siembra del biol obtenido en medios 3MTM Petrifilm Salmonella Express Discos de confirmación (prueba bioquímica para confirmación de Salmonella) y en placas de recuento E. coli/Coliformes Petrifilm 3M incubando durante 24 horas a 41,5°C para determinar presencia o ausencia de los microorganismos en las muestras.



Diseño experimental

Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones.

VARIABLES	NIVELES	UNIDADES	FACTOR POR DETERMINAR
Tiempo de residencia	25	Días	Presencia-Ausencia de patógenos según Norma Ecuatoriana
	40	Días	
	55	Días	

Determinación del pH al inicio y al final del tratamiento

pH inicial mezcla heces/agua = 6,5 a 6,8



pH final del proceso (biol) = 7,5 a 8



Variación de pH correcta y favorece a la actividad del consorcio bacteriano acidogénico y metanogénico; según menciona Osorio et al., (2007) un rango óptimo de pH para el proceso de digestión está entre 7 y 8, pero también puede funcionar correctamente entre 6,5 y 7,5.

Variación del porcentaje de sólidos totales ST



Sólidos ● totales

Heces=
30%

Se encuentra dentro de los valores típicos de ST en varios tipos de estiércoles

Mezcla =
7,5%

Dentro del porcentaje óptimo para lograr un buen trabajo y movilidad del consorcio bacteriano

Biol=
1,6%

Degradación de la materia orgánica presente



Composición química del biol

NUTRIENTES

Composición promedio
de un biol

2,6% N

1,5% P

1% K

Biol obtenido

0,75% N

0,25% P

0,11%

Aparcana & Jansen (2008), los valores pueden variar dependiendo de la clase de animal, su dieta, el método de almacenamiento y aplicación del tratamiento.

Análisis microbiológicos

Producto	Parámetro	
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella</i>
BIOL a partir de heces caninas	< 3	Ausencia

< 3 Ausencia de microorganismos

Anexo 2

Biol libre de patógenos
peligrosos para la
salud humana



Microorganismos indicadores de contaminación en
productos orgánicos y cumplen con los parámetros de
AGROCALIDAD del Ecuador (2020) para fertilizantes
orgánicos.



Diseño experimental

Basado en el TR

Disminución de la contaminación por patógeno indicadores a medida que transcurre el tiempo

TR 55 días adecuado basados en la calidad microbiológica

Tratamiento (Tiempo de retención)	Bloque		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
25 días (TR)	Presencia <i>E. coli</i> /coliformes	Presencia <i>E. coli</i> /coliformes	Presencia <i>E. coli</i> /coliformes
40 días (TR)	Presencia <i>E. coli</i> /coliformes	Ausencia de patógenos	Presencia <i>E. coli</i> /coliformes
55 días (TR)	Ausencia de patógenos	Ausencia de patógenos	Ausencia de patógenos

- En base a la normativa NTE INEN 211:98 que establece los límites máximos y mínimos de contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio para fertilizantes, se puede concluir que el contenido de estos macronutrientes en el biol obtenido es bajo, esto se debe a la calidad de la materia prima, es decir a las heces recolectadas diariamente y está directamente relacionada al tipo de alimentación que reciben los canes en el refugio.
- Los rangos de pH que se mantienen el todo el proceso de biodigestión son óptimos para el desarrollo y trabajo del consorcio bacteriano, lo cual favorece a cada una de las fases desde la hidrólisis hasta la metanogénesis.
- Se dio una disminución significativa del porcentaje de Sólidos Totales medidos desde la entrada de la carga al biodigestor hasta el valor obtenido de ST en el biol, esto se debe a la degradación de la materia orgánica presente por las bacterias y en otra parte a fenómenos físicos de sedimentación dentro del reactor.
- Las heces caninas utilizadas en el presente estudio pueden ser utilizadas para la producción de biofertilizante; basando los resultados en los análisis realizados, el producto es inocuo según la normativa microbiológica de AGROCALIDAD.



- Realizar otros análisis de las heces caninas tales como su composición fisicoquímica y bioquímica para establecer mejor sus características y potencial para producción de biol y biogás.
- Con el objetivo de aumentar el porcentaje de macronutrientes (N, P y K) en el biol que se obtiene, se puede adicionar otro tipo de materia prima a la entrada del biodigestor tal como otro tipo de estiércol, ya sea vacuno o porcino, para así aumentar la cantidad de nutrientes presentes en el proceso.
- Debido a que la Norma INEN no es muy amplia en cuanto a los requerimientos microbiológicos, se tomó la Normativa de AGROCALIDAD Ecuatoriana, que señala que además de la determinación del E. coli y Salmonella spp., se deben realizar análisis también para otros microorganismos como Listeria monocitogenes, Shigella spp., Staphylococcus aureus y fitopatógenos.
- Es importante capacitar al personal que maneja el biodigestor, sobre todo si es personal nuevo ya que deben saber bien como realizar la mezcla correcta de heces/agua para introducir en el reactor y así evitar problemas futuros en el funcionamiento del mismo





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Ing. Rafael Vargas M.Sc.
Director del Proyecto de Investigación
Carrera de Ingeniería en
Biotecnología ESPE

Dr. Petronio Gavilanes M.Sc.
Lector del Proyecto de Investigación
Carrera de Ingeniería en Biotecnología
ESPE

Dra. Karina Ponce M.Sc.
Directora de Carrera
Carrera de Ingeniería en Biotecnología
ESPE



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA