



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA:**

---

**DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PRODUCIDAS  
EN EL LAVADO DE CORRALES DE CERDOS, EN LA GRANJA DE  
PRODUCCIÓN PORCINA A PEQUEÑA ESCALA PARA EL RANCHO  
SAN FERNANDO**

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

**Autor(a)**

Sevillano Veliz Juan Carlos

**Tutor(a)**

Ing. Pablo Elicio Ron Valenzuela MSc.

QUITO – ECUADOR

2023

## **AUTORIZACIÓN**

### **AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo, Juan Carlos Sevillano Veliz, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PRODUCIDAD EN EL LAVADO DE CORRALES DE CERDOS, EN LA GRANJA DE PRODUCCIÓN PORCINA A PEQUEÑA ESCALA PARA EL RANCHO SAN FERNANDO, como requisito para optar al grado de Ingeniería Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 30 días del mes de septiembre del 2022, firmo conforme:

Autor: Juan Carlos Sevillano Veliz  
Firma:  
Número de Cédula: 0802829978  
Dirección:  
Correo Electrónico:  
Teléfono: 0996267086

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PRODUCIDAS EN EL LAVADO DE CORRALES DE CERDOS, EN LA GRANJA DE PRODUCCIÓN PORCINA A PEQUEÑA ESCALA PARA EL RANCHO SAN FERNANDO” presentado por Juan Carlos Sevillano para optar por el Título de Ingeniería Industrial.

### **CERTIFICO**

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 30 de septiembre del 2022

.....  
Ing. Pablo Elicio Ron Valenzuela MSc.

C.I. 1708520265

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniería Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 30 de septiembre del 2022

.....  
Juan Carlos Sevillano Veliz  
C.I. 0802829978

## **APROBACIÓN TRIBUNAL**

El trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PRODUCIDAD EN EL LAVADO DE CORRALES DE CERDOS, EN LA GRANJA DE PRODUCCIÓN PORCINA A PEQUEÑA ESCALA PARA EL RANCHO SAN FERNANDO, previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 30 de septiembre del 2022

.....

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....

VOCAL

.....

VOCAL

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación dedico a Dios, a mis padres por el incondicional apoyo durante toda mi carrera universitaria y por enseñarme valores que me ayudaron a ser una mejor persona.

A mi esposa e hijo por apoyarme desinteresadamente en todos los años de estudio para cumplir este objetivo.

**Juan Carlos**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Tecnológica Indoamérica por la educación brindada y por contar con docentes destacados que facilitan sus conocimientos y experiencias que fortalecen nuestra profesión.

A mi tutor el Ing. Pablo Ron por guiarme en la consecución de este trabajo de titulación, por su amistad y apoyo en toda mi carrera universitaria siendo un pilar fundamental en la obtención de mi título.

A la granja San Fernando representada por el Dr. Oscar Silva por facilitarme el desarrollo de esta propuesta de solución.

**Gracias**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN .....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR .....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN .....	xiv
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
Antecedentes .....	3
Justificación.....	5
Objetivos .....	6
Objetivo general .....	6
Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II .....	7
INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	7



Diagnóstico de la situación actual de la organización.....	7
Proceso de lavado de corrales .....	9
Estudio de impacto ambiental en la Finca San Fernando.....	10
Matriz de Vicente Conesa para la evaluación de impactos ambientales en la granja San Fernando.....	11
Identificación de posibles impactos ambientales en las operaciones del lavado de corrales en la granja San Fernando.....	4
Resultado del análisis y valoración de los impactos a través la matriz de Vicente Conesa.....	5
Conclusión de la evaluación de los impactos ambientales en el lavado de corrales.....	9
Evidencias del impacto generado en la granja San Fernando .....	9
Área de estudio.....	10
Modelo Operativo .....	11
Desarrollo del Modelo Operativo.....	11
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>13</b>
<b>PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS .....</b>	<b>13</b>
Presentación de la propuesta .....	13
Características de las aguas residuales porcinas .....	13
Sistema de tratamiento de aguas residuales .....	14
Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	15

Selección del método más adecuado mediante la aplicación de la matriz de factores ponderados .....	18
Parámetros de selección del método de tratamiento de aguas residuales .....	19
Evaluación del biodigestor para la generación de biogás .....	22
Diseño del sistema de aguas residuales para la granja San Fernando .....	22
Diseño geométrico preliminar .....	24
Parámetros de diseño.....	24
Diseño del pretratamiento de aguas residuales .....	25
Rejillas.....	25
Diseño del tanque primario.....	30
Diseño del biodigestor de membrana tubular flexible en PVC .....	31
Ancho mayor (b).....	36
Generación de gas.....	37
Diseño del tanque secundario .....	38
Resultados esperados.....	39
Análisis de costos .....	42
Cronograma de implementación de la propuesta .....	44
CAPÍTULO IV.....	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
Conclusiones .....	45

Recomendaciones.....	46
Bibliografía.....	47
ANEXOS.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Criterios de la matriz de importancia (Conesa Fernandez, 1997).....	1
<b>Tabla 2</b> Jerarquización de impactos ambientales.....	3
<b>Tabla 3</b> Operaciones en el lavado de corrales de cerdos y el impacto ambiental provocado .....	4
<b>Tabla 4</b> Valoración de la matriz de Conessa en el lavado de corrales de cerdos.....	6
<b>Tabla 5</b> Valoración de la matriz de Conesa en la operación de desinfección.....	7
<b>Tabla 6</b> Valoración de la matriz de Conesa en la descarga de aguas residuales.....	8
<b>Tabla 7</b> Indicadores de valoración .....	19
<b>Tabla 8</b> Matriz de factores ponderados para la selección del método de tratamiento de aguas residuales.....	20
<b>Tabla 9</b> Matriz de selección del tipo de biodigestor del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	22
<b>Tabla 10</b> Análisis de costos de materiales .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Purín en corrales de cerdos.....	8
<b>Figura 2</b> Fotografías del impacto en el agua.....	10
<b>Figura 3</b> Modelo Operativo.....	11
<b>Figura 4</b> Biodigestor de plástico polietileno de invernadero .....	21
<b>Figura 5</b> Biodigestor en geomembrana de PVC .....	21
<b>Figura 6</b> Sistema de tratamiento de aguas residuales .....	24
<b>Figura 7</b> Sistema de tratamiento de aguas residuales .....	32
<b>Figura 8</b> Zanja trapezoidal del biodigestor .....	35
<b>Figura 9</b> Esquema básico de todos los componentes que integran un biodigestor .....	38
<b>Figura 10</b> Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	40
<b>Figura 11</b> Esquema de la rejilla .....	40
<b>Figura 12</b> Esquema de los tanques.....	41
<b>Figura 13</b> Esquema del biodigestor .....	41

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PRODUCIDAS EN EL LAVADO DE CORRALES DE CERDOS, EN LA GRANJA DE PRODUCCIÓN PORCINA A PEQUEÑA ESCALA PARA EL RANCHO SAN FERNANDO**

**AUTOR:** Juan Carlos Sevillano Véliz

**TUTOR:** Ing. Pablo El

icio Ron Valenzuela MSc

**RESUMEN**

En el presente trabajo de titulación se determinó que los aspectos e impactos ambientales que se producen en la descarga de aguas residuales sin tratar en la granja San Fernando ubicada en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas no han sido analizadas y peormente han sido tratadas por lo que son descargadas de manera inadecuada a los terrenos de la finca provocando focos de contaminación y proliferación de roedores; motivo por el cual se propone el diseño de un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales del lavado de corrales y la mezcla con orina y estiércol de cerdos; para ello se aplicó la evaluación del impacto ambiental mediante la matriz de Vicente Conesa y se determinó un impacto crítico con una valoración de -76 y dos impactos severo de -68 en el uso de agua y - 54 en la emisión de gases, en base a estos resultados se estableció el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para un caudal de  $11,84 \frac{m^3}{día}$  y la utilización de rejillas, tanque primario, biodigestor en membrana de pvc que genera aproximadamente  $1 \frac{m^3}{día}$  de gas que podría ser utilizado para calentamiento de corrales o cocina de la granja y las aguas tratadas podrían ser utilizadas en regadíos de la finca.

**Palabras claves**

Aguas residuales de cerdos, contaminación, impactos ambientales, purín, sistema de tratamiento.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**SUBJECT: DESIGN OF THE SYSTEM FOR THE TREATMENT OF WATER PRODUCED IN THE WASHING OF PIG PENS, IN THE SMALL-SCALE SWINE PRODUCTION FARM FOR THE SAN FERNANDO RANCH.**

**AUTHOR:** Juan Carlos Sevillano Véliz

**TUTOR:** Pablo Elicio Ron Valenzuela MSc.

**SUMMARY**

In this degree work, it was determined that the environmental aspects and impacts produced by the discharge of untreated wastewater at the San Fernando farm located in the Province of Santo Domingo de los Tsáchilas have not been analyzed and have not been treated, so they are discharged inadequately to the land of the farm, causing sources of contamination and proliferation of rodents. For this reason, the design of a wastewater treatment system for washing corrals and mixing with urine and manure from pigs is proposed; For this purpose, the environmental impact assessment was applied using the Vicente Conesa matrix and a critical impact was determined with a rating of -76 and two severe impacts of -68 in the use of water and -54 in gas emissions; based on these results, the design of the wastewater treatment system was established for a flow rate of  $11,84 \frac{m^3}{día}$  and the use of grids, primary tank, biodigester in pvc membrane that generates approximately  $1 \frac{m^3}{día}$  of gas that could be used for heating corrals or farm kitchen and the treated water could be used in irrigation of the farm.

**Key words.**

Swine wastewater, pollution, environmental impacts, slurry, treatment system.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

En las actividades que se desarrollan en fincas de baja escala en lo que se refiere a la crianza de cerdos se utiliza agua para el lavado de las chancheras o corrales de chanchos lo que ocasiona impactos ambientales significativos. Dentro del campo productivo de cerdos se lleva un procedimiento en casi todas las fincas y consta lo siguiente: los cerdos entran a una etapa llamada iniciación que va desde el destete hasta los 20Kg. de peso vivo, luego ingresan a la etapa de levante la que va desde los 20 Kg. hasta los 45 Kg. o sea, más o menos desde los 60 hasta los 120 días aproximadamente. Terminado el levante los cerdos pasan a la etapa de engorde, que va desde los 45Kg. de peso hasta 90 - 110 Kg., que es el peso final para el mercado. Si los cerdos se destinan como reemplazos se seleccionan a los 8 meses o sea después de la ceba. Estos cerdos serán los que posteriormente se utilizarán en la porqueriza como reproductores para monta. (Carrero, 2005)

La crianza mundial de cerdos por su manera de desarrollarse se ha venido dando en condiciones insalubres con impactos ambientales al suelo, al aire, al agua y en sí al entorno donde se ubican las corraleras; motivo por el cual deben controlarse los residuos sólidos y líquidos evitando de esta manera focos de contaminación y el incremento del deterioro del ambiente y de los recursos naturales como el agua.

En el estudio realizado por (Rodríguez L. , 2019) manifiesta que a nivel mundial la porcicultura presenta profundos problemas ambientales que se han venido desarrollando con frecuencia; y son en gran magnitud los malos procedimientos que se generan en la parte productiva de esta



actividad. Dentro de los principales problemas ambientales que ocasiona esta actividad se encuentran: la contaminación del agua superficial y del subsuelo por el nitrógeno y fósforo contenido en las excretas, deterioro de la calidad del aire por la generación de gases tóxicos, principalmente dióxido de carbono, (CO<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), ácido sulfhídrico, (H<sub>2</sub>S) y metano (CH<sub>4</sub>), que afectan a los trabajadores, a las poblaciones vecinas y a los propios cerdos, contaminación por metales pesados, sobre todo cobre y zinc, que el cerdo solo absorbe en un 5 y 15%, excretando el resto.

Según estudios realizados por la UNESCO se manifiesta que las aguas residuales de áreas urbanas destinadas a la agricultura se encuentran categorizadas dentro de los recursos hídricos no convencionales, de tal manera que previo a su descarga, es necesario que estas aguas sean tratadas eficientemente, más aún, si son utilizadas para irrigación de cultivos. Esta realidad se ahonda mucho más en Ecuador ya que existen muchas fincas que se dedican al criadero de cerdos de manera por decirlo clandestina donde sus chancheras se encuentran en condiciones muy deterioradas y los residuos son votados a los terrenos del lugar ocasionando daños irreversibles al suelo y generando la proliferación de insectos a causa de los excrementos, las aguas utilizadas para la limpieza no son tratadas técnicamente. (UNESCO, 2017).

De acuerdo con lo que menciona (Martínez González, 2019), la crianza de cerdos producen una generación de efectos en el medio ambiente, esto es provocado por las deyecciones líquidas y sólidas, presentan un gran contenido de materia orgánica y nutrientes, sin embargo, los mismos componen un alto contenido de metales pesados debido a los pesticidas y medicamentos que fueron otorgados en su ciclo de reproducción, es así como, la producción de cerdos genera compuestos que son volatilizables en el ambiente.

En el Ecuador, los sistemas de producción porcina, durante el año 2016 produjeron aproximadamente 1,14 millones de toneladas métricas de gas metano (CH<sub>4</sub>) y 23,97 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (INEC, 2016). El metano entérico representa el 30% de las emisiones a nivel mundial, este, por tratarse de un contaminante de vida corta, su reducción puede resultar de mucha utilidad para mitigar el cambio climático. (FAO, 2015)

En la Finca San Fernando durante las fases de producción de cerdos se los aloja en las corraleras también llamadas cocheras o chancheras, las mismas deben ser lavadas continuamente con abundante agua y detergentes que permitan obtener una buena higiene de los animales con el fin de evitar enfermedades garantizando el crecimiento y engorde de los porcinos. Esta limpieza de corrales se lo hace con aguas recogidas de efluentes naturales y cuando existe sequía de los mismos se lleva en tanqueros o tanques de 55 galones; lo que incrementa los costos de limpieza; a más de ello las aguas producto de la limpieza de excremento y lavado de las corraleras son votadas en terrenos aledaños creando muchos focos de contaminación y las aguas por supuesto no son tratadas técnicamente, motivos por los cuales los propietarios están buscando alternativas de solución que reduzcan el daño ambiental generado.

### **Antecedentes**

La granja San Fernando, es de los Tsáchilas constituida en el año 2012, que se dedica a la crianza de cerdos a pequeña escala y las actividades de saneamiento deben contar con suficiente agua tanto para la crianza de cerdos como para la limpieza de las corraleras donde se desarrollan los porcinos con el fin de cuidar la salud de los animales, de los trabajadores y de la protección ambiental del entorno aledaños a la finca.

En la actualidad la finca no posee multas ambientales por la manera como descarga las aguas y excrementos de los cerdos, de igual forma no posee procedimientos o un sistema de tratamiento para las aguas utilizadas en las labores diarias de la finca, ni lleva registros donde exista las recomendaciones del destino de residuos sólidos y líquidos que produce la crianza de porcinos.

En la limpieza de corrales participan 5 trabajadores y un encargado de la logística de insumos; por lo tanto, esta investigación puede servir como un plan piloto para ponerlo en prueba y generar una idea de negocio de la finca y su proponente; solucionando los problemas de aguas residuales de otras fincas de la provincia dedicadas a la crianza de porcinos.

En el Art. 15 de la Constitución de la República del Ecuador, señala que el estado promoverá, en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. (Calvas, 2018)

e los principales sistemas de producción agropecuaria se encuentra la crianza de animales porcinos, debido a que sus actividades provocan contaminación al aire, al agua y al suelo entre los más significativos o importantes; es por ello que debe considerarse la posibilidad de introducir sistemas que permitan o contribuyan a la reducción de estos impactos y evitando el uso indiscriminado de recursos naturales.

## **Justificación**

La finca San Fernando en los actuales momentos no posee ninguna manera de tratar las aguas producto de la limpieza de corrales por lo cual es de mucha **importancia** proponer técnicamente una solución ambiental que reduzca el impacto provocado al suelo, al aire y a la fauna del lugar, con el fin de respetar la legislación ecuatoriana y con ello demostrar la responsabilidad sostenible y sustentable con el ambiente por parte de la finca.

En la actualidad esta finca genera empleos de forma local y se encuentra cercana a la población, lo que requiere tomar muy en cuenta la manera de realizar la limpieza de las chancheras; esto se lo ve de muy buena manera porque genera un **impacto** positivo con la comunidad y los trabajadores generando una responsabilidad ambiental.

El tratamiento de aguas residuales ayudará a la finca a llevar el proceso de limpieza de corrales a ejecutar sus tareas de mejor manera cuidando al ambiente, lo que será para esta organización de mucha **utilidad** el dar una solución a los problemas ambientales ocasionados, además que será un atenuante frente al Ministerio de Ambiente del país.

Este proyecto de titulación tendrá como **beneficiarios** a la finca San Fernando y sus trabajadores; así como al buen manejo de residuos sólidos y líquidos, estableciendo de esta forma una conciencia de protección y cuidado del ambiente; de igual manera será motivo de reconocimiento de los clientes de estos porcinos.

El diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales es totalmente **factible**, ya que la finca San Fernando está brindando una solución efectiva a la problemática de la contaminación y cuidado del ambiente, causada por la crianza de cerdos y por el proceso de limpieza y desinfección de chancheras.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Diseñar un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales en el proceso de lavado de corrales de cerdos, mediante el dimensionamiento y selección de sus componentes que contribuyan a la reducción del impacto ambiental en la granja San Fernando

### **Objetivos específicos**

- Evaluar los aspectos e impactos ambientales, mediante la observación in situ del proceso de lavado de corrales y la matriz causa efecto de Vicente Conesa para la determinación de la significancia de la problemática en la granja San Fernando.
- Plantear alternativas de tratamiento biológico de aguas residuales con el fin de ser evaluadas, mediante la metodología de factores ponderados y escoger la opción que se adecúe a los parámetros de selección y solución a los impactos ambientales de mayor significancia.
- Establecer las dimensiones de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales porcinas (PTAR) en función de sus componentes, condiciones, características para la reutilización del gas y agua en la granja San Fernando.

## CAPÍTULO II

### INGENIERÍA DEL PROYECTO

#### **Diagnóstico de la situación actual de la organización**

La crianza a pequeña escala o conocida también como crianza de traspatio; tiene como finalidad el consumo del animal, su venta en pie o la venta de carne, los purines (orina + heces) generados durante la crianza tienen un destino no definido y poco aprovechable, lo que se traduce muchas veces en la disposición de estos desechos en lugares donde las consecuencias ambientales pueden llegar a ser perjudiciales. Dentro de los principales problemas ambientales que ocasiona esta actividad se encuentran: la contaminación del agua superficial y del subsuelo por el nitrógeno y fósforo contenido en las excretas, deterioro de la calidad del aire por la generación de gases tóxicos, principalmente dióxido de carbono, (CO<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), ácido sulfhídrico, (H<sub>2</sub>S) y metano (CH<sub>4</sub>), que afectan a los trabajadores, a las poblaciones vecinas y a los propios cerdos, contaminación por metales pesados, sobre todo cobre y zinc, que el cerdo solo absorbe en un 5 y 15%, excretando el resto. (Rodríguez L. , 2019)

En la digestión anaeróbica del estiércol de cerdo generada en la ciudad de Puyo, Pastaza-Ecuador, se utilizó un biodigestor tubular de polietileno de 13 m<sup>3</sup> alimentado por 5,141 m<sup>3</sup> de agua residual y se caracterizó parámetros físicos químicos y microbiológicos en las muestras de agua residual y sustratos. Obteniendo como resultado un volumen diario de 51,41 litros de agua residual diaria, y un volumen de 2,211m<sup>3</sup> de biogás en 43 días. Los valores iniciales de 6,66 pH, 4,6mS de conductividad eléctrica, 506mg/l de sólidos totales,187mg/l de sólidos volátiles, 53 ppm de fosforo, 0,00029 ppm de potasio, 0,0012 de magnesio, 0,01248 ppm de calcio, 57,44 ppm de nitrógeno amoniacal, 2161 mg/l de demanda química de oxígeno, 2,2 x 10<sup>5</sup> ufc de coliformes fecales, y 1,12 x 10<sup>6</sup> ufc de E. Coli. Concluyendo que solo los parámetros de pH, conductividad

eléctrica, Mg, Ca y K cumplen con los rangos establecidos por la normativa nacional (Briseño, 2017).

Las aguas residuales porcinas son el resultado del consumo de agua de la red municipal, están formadas por deyecciones de cerdos, trazas de antibióticos, desperdicios de alimentos, y subproductos utilizados para la limpieza de corrales. Debido a su origen poseen grandes cantidades de materia orgánica o también llamados purines, nutrientes en altas proporciones especialmente el fosforo, nitrógeno y potasio, y en menores proporciones a los metales pesados (Larios, 2016)

La producción de excretas de acuerdo con el estado corporal del cerdo varía de 4,9 a 8,5 % de su peso vivo día 1, considerando el rango de los 15 a los 100 kg de peso vivo, presenta un alto potencial en nutrientes fertilizantes y alimenticios, o un riesgo elevado de contaminación, cuando es inadecuadamente manejado y utilizado. (IMTA, 2021)

### **Figura 1**

*Purín en corrales de cerdos*



**Nota:** El gráfico representa la presencia de purín en los corrales de crianza de cerdos en la finca San Fernando. Elaboración propia.

La granja San Fernando, está asentada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y tiene 12 trabajadores; en la actualidad se dedica a la crianza de cerdos a pequeña escala y dentro de sus procesos que lleva a cabo es la limpieza y desinfección de chancheras; esta actividad la tiene concesionada a terceras personas lo que incide en daños al ambiente.

### **Proceso de lavado de corrales**

A continuación, se presentan las actividades que se llevan a cabo en el lavado de los corrales para la crianza de cerdos a pequeña escala con el fin de identificar el procedimiento para este proceso.

- **REMOJAR:** Tan pronto como sea posible después de sacar los cerdos. No permita que el corral se seque, ya que esto hará que la remoción del material orgánico sea mucho más difícil.
- **LIMPIEZA CON AGUA:** Elimine el material orgánico ablandado por el agua.
- **APLICACIÓN DE DETERGENTE EN PISOS Y PAREDES:** Utilice un detergente con propiedades limpiadoras y desengrasantes. Este paso es esencial para eliminar la biopelícula protectora alrededor de las bacterias.
- **LAVADO Y ENJUAGADO CON AGUA:** Es necesario realizar una limpieza y un enjuague a fondo para eliminar todos los restos de materia orgánica (por ejemplo, estiércol) y cualquier residuo de detergente.
- **DESINFECCIÓN PRIMARIA:** Use un desinfectante de amplio espectro que sea efectivo contra bacterias, virus y hongos. Asegúrese de que el desinfectante se use a la concentración y temperatura correctas.



- FLAMEAR PISOS, PAREDES Y PUERTAS: Considere la posibilidad de utilizar la fumigación para aumentar la eficacia de la desinfección.
- LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS: Limpiar todas las herramientas utilizadas en el proceso de lavado de corrales.

### **Estudio de impacto ambiental en la Finca San Fernando**

El estudio de impacto ambiental consiste en una estimación predictiva o una identificación presente de los daños o alteraciones ambientales, con el fin de establecer las medidas preventivas, las actividades de mitigación y las medidas de rehabilitación de impactos ambientales producidos por una probable o efectiva ejecución de un proyecto de cualquiera de las fases, las mismas que constituirán herramientas técnicas para la regularización, control y seguimiento ambiental de una obra, proyecto o actividad que suponga riesgo ambiental. (Ministerio del Ambiente, 2015).

Cabe señalar que se considera contaminación ambiental a la presencia de contaminantes en concentraciones altas o que superan los límites permisibles dados por el Ministerio de Ambiente o por normativas internacionales; éstos alteran o modifican las condiciones propias de un lugar o entorno, de igual manera causan daños a la fauna, flora, suelos, agua, paisajes y a los recursos naturales del lugar donde se produce esta contaminación.

Los impactos ambientales son los efectos o alteraciones que resultan del desarrollo de las actividades de crianza de cerdos en la finca, constituyéndose en la problemática a ser analizada para consecuentemente dar una solución que minimice, reduzca y de ser posible elimine las consecuencias provocadas por la limpieza, lavado y secado de los corrales de cerdos Para la evaluación de impactos ambientales en la finca San Fernando se lleva a cabo visitas in situ con el

fin de observar las actividades que se llevan a cabo y que ocasionan efectos adversos a la protección del ambiente.

De acuerdo con lo que menciona (Martínez González, 2019), la crianza de cerdos produce una generación de efectos en el medio ambiente, esto es provocado por las deyecciones líquidas y sólidas, presentan un gran contenido de materia orgánica y nutrientes, sin embargo, los mismos componen un alto contenido de metales pesados debido a los pesticidas y medicamentos que fueron otorgados en su ciclo de reproducción, es así como, la producción de cerdos genera compuestos que son volatilizables en el ambiente.

La metodología para la evaluación de los impactos ambientales se lo llevará a efecto por medio de la utilización de la matriz dada por Vicente Conesa; la misma que evalúa la importancia del impacto ocasionado por las acciones llevadas a cabo por la empresa y como estos inciden sobre los factores ambientales; priorizando impactos de mayor magnitud y relevancia para enfocarse en los mismos que se mitigarán para evitar daños al ambiente y salud de los trabajadores.

### **Matriz de Vicente Conesa para la evaluación de impactos ambientales en la granja San Fernando**

*La Matriz de Vicente Conesa, es una metodología causa efecto que determina la importancia del impacto ocasionado por las acciones realizadas en las operaciones de lavado de corrales en la granja San Fernando, para ello se muestra en la*

**Tabla 1**, los criterios establecidos en la ecuación del método para cada factor ambiental que evalúa la importancia en función de la intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación, efecto y periodicidad con sus respectivas valoraciones cualitativas y cuantitativas. Cabe señalar que el signo indica si el impacto es positivo o negativo.

**Tabla 1**

Criterios de la matriz de importancia (Conesa Fernandez, 1997)

CRITERIOS		SIGNIFICADO	RANGO	CALIF.
Signo	Positivo (+)	Hace alusión al carácter benéfico (+) perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados	Impacto benéfico	+
	Negativo (-)		Impacto perjudicial	-
Intensidad	IN	Grado de incidencia de la acción sobre el factor en el ámbito específico en el que actúa	Baja	1
			Media	2
			Alta	4
			Muy alta	8
			Total	12
Extensión	EX	Área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno de la actividad (% de área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto)	Puntual	2
			Parcial	2
			Extensa	4
			Total	8
			Crítica	(+4)
Momento	MO	Alude al tiempo entre la aparición de la acción que produce el impacto y el comienzo de las afectaciones sobre el factor considerado	Largo plazo	1
			Mediano plazo	2
			Inmediato	4
			Crítico	(+4)
Persistencia	PE	Tiempo que supuestamente permanecerá el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez aquella deje de actuar sobre el medio	Fugaz	1
			Temporal	2
			Permanente	4
Reversibilidad	RV	Se refiere a la posibilidad de construcción del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medio de la intervención humana (o sea mediante la implementación de medidas de manejo ambiental).	Corto plazo	1
			Mediano plazo	2
			Irreversible	4
Recuperabilidad	MC	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medio de la intervención humana (o sea mediante la implementación de medidas de manejo ambiental). Cuando el efecto es irrecuperable (alteración imposible de reparar, tanto por la acción natural, como por la humana) le asignamos el valor de ocho (8). En caso de ser:	Inmediato	1
			Medio plazo	2
			Mitigable o compensable	4
			Irrecuperable	8
Sinergia	SI	Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.	Sin sinergismo (simple)	1
			Sinérgico	2
			Muy sinérgico	4
Acumulación	AC	Este atributo de idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera	Simple	1
			Acumulación	4
Efecto	EF	Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea, a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. Puede ser directo o primario, siendo en este caso la repercusión de la acción consecuencia directa de la acción consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando este como una acción de segundo orden.	Indirecto (secundario)	1
			Directo	4
Periodicidad	PR	Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular) o constante en el tiempo (efecto continuo).	Irregular o aperiódico	1
			Periódico	2
			Continuo	4

Nota. En esta tabla se muestra los criterios a evaluar en la matriz de Conesa en los impactos producidos en el proceso de lavado de corrales, Adaptada de (Conesa Fernandez, 1997) <http://www.sinab.unal.edu.co/?q=node/46>

Para la aplicación de la metodología dado por Vicente Conesa (Conesa Fernandez, 1997) se lo aplica en las operaciones de lavado y desinfectado debido a que de manera visual son las de mayor significancia en la granja San Fernando y para determinar la importancia del impacto se lo realiza mediante la ecuación 1.

$$Imp = +/- (2 * EX + 3 * I + MO + PE + RV + MC + SI + AC + EF + PR) \quad (1)$$

Donde:

Imp = Impacto

I = Intensidad

EX = Extensión

MO = Momento

PE = Persistencia

RV = Reversibilidad

MC = Magnitud

SI = Sinergia

AC = Acumulación

EF = Efecto

PR = Periodicidad

Para la jerarquización de los impactos ambientales evaluados se agrupan los valores en cuatro rangos cuyos valores y colores se muestran en la **Tabla 2**. Estos valores se enmarcan en función de las valoraciones que son determinadas mediante los valores de cada criterio del método de Conesa mostrados en la **Tabla 1**.

## Tabla 2

### *Jerarquización de impactos ambientales*

	Inferiores a 25 son irrelevantes o compatibles con el ambiente
	Entre 25y 50 son impactos moderados.
	Entre 50 y 75 son severos
	Superiores a 75 son críticos

**Nota.** En esta tabla se muestra la escala de valoración de los impactos encontrados en las operaciones de lavado de corrales. Adaptado de (Clavijo Campos, 2017)

Esta metodología es muy utilizada en varios sectores productivos y es una herramienta que brinda confiabilidad; esto se debe a la evaluación de los criterios que se involucran para su análisis. A continuación, se realiza una identificación de las operaciones que se ejecutan en el lavado de corrales y la relación que tienen con los componentes ambientales, el medio tales como aire, agua, paisaje, comunidad, entre otros a los que se afectan o inciden por el impacto ocasionado ya sea beneficioso o negativo para el cuidado del ambiente.

Las operaciones que se llevan a cabo en el lavado de corrales inician con un remojo del piso de los corrales con agua, esto se hace para que brinde mayor facilidad de movimiento del estiércol y orina de los cerdos, es decir se inicia con un primer lavado, luego se coloca detergente en los pisos y paredes, se procede a realizar un segundo lavado y enjagüe de las corraleras. Una vez realizada esta operación se desinfecta con la utilización de six 20. Se procede con la limpieza de las herramientas que se usaron en el lavado de corrales y con la descarga de las aguas residuales generadas.

**Identificación de posibles impactos ambientales en las operaciones del lavado de corrales en la granja San Fernando**

**Tabla 3**

*Operaciones en el lavado de corrales de cerdos y el impacto ambiental provocado*

<b>OPERACIONES</b>	<b>COMPONENTE AMBIENTAL</b>	<b>MEDIO</b>	<b>IMPACTO</b>
1. REMOJAR	FÍSICO	Aire	Presencia de metano, ácido sulfhídrico y amoníaco presentes en estiércol y orina
		Agua	Excesivo uso de agua para remojo de corrales
		Paisaje	Deterioro del paisaje por presencia de residuos del lavado de corrales
	CULTURALES	Comunidad	Malestar en las personas por el olor y presencia de vectores
		Salud	Enfermedades respiratorias
		Economía	Generación de empleos para el proceso de producción porcina
2. APLICACIÓN DE DETERGENTE EN PISOS Y PAREDES	FÍSICO	Aire	Generación de material particulado por la mezcla de detergentes y residuos de PURIN
		Agua	Agotamiento del recurso hídrico por el uso para la limpieza de corrales
		Suelo	Contaminación del suelo por actividades derivadas del lavado de corrales y de la granja, propagación de malos olores, generación de plagas,
		Paisaje	Deterioro del paisaje por presencia de residuos del lavado de corrales
	CULTURALES	Comunidad	Malestar en las personas por lodazales
		Economía	Generación de empleos para el proceso de lavado de corrales

Continuación

3. LAVADO Y ENJUAGADO CON AGUA	FÍSICO	Agua	Agotamiento del recurso hídrico por el uso para la limpieza de corrales
		Suelo	Contaminación del suelo por actividades derivadas del lavado de corrales y de la granja
		Paisaje	Deterioro del paisaje por presencia de residuos del lavado de corrales
	BIÓTICO	Flora	Alteración de la flora del sector
		Economía	Generación de empleos para el proceso de lavado de corrales
4. DESINFECCIÓN CON SIX 20	FÍSICO	Aire	Desprendimiento de partículas de los químicos utilizados para esta fase
		Suelo	Contaminación del suelo por desprendimiento de aguas contaminadas con químicos
		Paisaje	Deterioro del paisaje por presencia de químicos
	BIÓTICO	Flora	Alteración de la flora del sector
		Salud	Posibles enfermedades laborales por el uso y exposición a químicos
5. LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS	FÍSICO	Aire	Emisión de residuos de gases
		Agua	Uso de agua para el lavado de herramientas
		Suelo	Contaminación del suelo por acumulación de sobrantes de heces y orina de cerdos
	CULTURALES	Economía	Generación de empleos
6. DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES	FÍSICO	Aire	Emisión de residuos de gases y olores
		Agua	Aguas residuales sin tratamiento
		Suelo	Deterioro del suelo por acumulación de sobrantes de residuos del lavado de corrales de cerdos
		Paisaje	Montones de residuos del lavado de corrales
	CULTURALES	Economía	Generación de empleos

**Nota.** En esta tabla se muestra los impactos ambientales producidos en las operaciones del lavado de corrales de cerdos en la granja San Fernando. Elaboración propia

### **Resultado del análisis y valoración de los impactos a través la matriz de Vicente Conesa**

Para la evaluación de los impactos ambientales se seleccionó las tres operaciones más importantes del proceso de la finca en el lavado de corrales de cerdos.



**Tabla 4**

Valoración de la matriz de Conessa en el lavado de corrales de cerdos

MATRIZ MÉTODO CONESA LAVADO DE CORRALES														
MEDIO	IMPACTO IDENTIFICADO	NATURALEZA	INTENSIDAD	EXTENSIÓN	MOMENTO	PERSISTENCIA	REVERSIBILIDAD	RECUPERABILIDAD	SINERGIA	ACUMULACIÓN	EFECTO	PERIODICIDAD	IMPORTANCIA	IMPACTO
Aire	Presencia de gases (metano, ácido sulfhídrico y amoníaco presentes en estiércol y orina)	NEGATIVO (-)	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	-48	
Agua	Excesivo uso de agua para remojo de corrales	NEGATIVO (-)	8	4	4	4	4	8	4	4	4	4	-68	
Suelo	Alteración en la infraestructura de la empresa por humedecimiento del piso	NEGATIVO (-)	1	1	4	1	1	1	1	1	1	2	-17	
Paisaje	Deterioro del paisaje por presencia de residuos del lavado de corrales	NEGATIVO (-)	2	1	1	2	1	2	1	1	4	2	-22	
Comunidad	Malestar en las personas por el olor y presencia de vectores	NEGATIVO (-)	2	2	1	2	1	2	1	1	4	2	-24	
Fauna	Daño a las vías respiratoria y visuales de los cerdos	NEGATIVO (-)	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	-22	
Comunidad	Malestar en las personas por lodazales	NEGATIVO (-)	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	-16	
Salud	Posibles enfermedades por el uso de químicos	NEGATIVO (-)	2	1	4	2	2	1	1	1	1	1	-21	
Economía	Generación de empleos para el proceso de producción porcina	POSITIVO (+)	4	1	4	2	1	1	2	1	4	2	31	

**Nota.** En esta tabla se muestra la valoración obtenida en los impactos positivos y negativos producidos en la operación de lavado de corrales. Elaboración propia.

**Tabla 5**

Valoración de la matriz de Conesa en la operación de desinfección

<b>MATRIZ MÉTODO CONESA DESINFECCIÓN DE CORRALES</b>														
<b>MEDIO</b>	<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>NATURALEZA</b>	<b>INTENSIDAD</b>	<b>EXTENSIÓN</b>	<b>MOMENTO</b>	<b>PERSISTENCIA</b>	<b>REVERSIBILIDAD</b>	<b>RECUPERABILIDAD</b>	<b>SINERGIA</b>	<b>ACUMULACIÓN</b>	<b>EFEECTO</b>	<b>PERIODICIDAD</b>	<b>IMPORTANCIA</b>	<b>IMPACTO</b>
Aire	Desprendimiento de partículas de los químicos utilizados para esta fase	NEGATIVO (-)	4	2	4	2	2	2	2	4	4	2	-38	
Agua	Aguas contaminadas con productos químicos	NEGATIVO (-)	4	2	4	2	2	2	2	1	1	1	-31	
Suelo	Contaminación del suelo por desprendimiento de aguas contaminadas con químicos	NEGATIVO (-)	4	2	1	1	1	1	2	1	1	2	-26	
Paisaje	Deterioro del paisaje por presencia de químicos	NEGATIVO (-)	4	2	4	2	2	2	2	4	1	1	-34	
Flora	Alteración de la flora del sector	NEGATIVO (-)	2	2	4	2	2	4	2	1	4	2	-31	
Salud	Posibles enfermedades laborales por el uso y exposición a químicos	NEGATIVO (-)	2	1	4	2	2	1	1	1	1	1	-21	
Economía	Generación de empleos para el proceso de lavado de corrales	POSITIVO (+)	4	1	4	2	1	1	2	1	4	2	31	

**Nota.** En esta tabla se muestra la valoración obtenida en los impactos positivos y negativos producidos en la operación de lavado de corrales. Elaboración propia

**Tabla 6**

Valoración de la matriz de Conesa en la descarga de aguas residuales

MATRIZ MÉTODO CONESA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES														
MEDIO	IMPACTO IDENTIFICADO	NATURALEZA	INTENSIDAD	EXTENSIÓN	MOMENTO	PERSISTENCIA	REVERSIBILIDAD	RECUPERABILIDAD	SINERGIA	ACUMULACIÓN	EFECTO	PERIODICIDAD	IMPORTANCIA	IMPACTO
Aire	Emisión de residuos de gases y olores	NEGATIVO (-)	8	4	2	2	4	2	4	2	4	2	-54	
Agua	Aguas residuales sin tratamiento	NEGATIVO (-)	8	8	4	4	4	8	4	4	4	4	-76	
Suelo	Deterioro del suelo por acumulación de sobrantes de residuos del lavado de corrales de cerdos	NEGATIVO (-)	4	1	4	1	2	2	2	1	4	1	-31	
Paisaje	Montones de residuos del lavado de corrales	NEGATIVO (-)	2	1	4	2	4	4	1	1	4	1	-29	
Economía	Generación de empleos para el proceso de lavado de corrales	POSITIVO (+)	4	1	4	2	1	1	2	1	4	2	-31	

**Nota.** En esta tabla se muestra la valoración obtenida en los impactos positivos y negativos producidos en la operación de lavado de corrales. Elaboración propia

## **Conclusión de la evaluación de los impactos ambientales en el lavado de corrales**

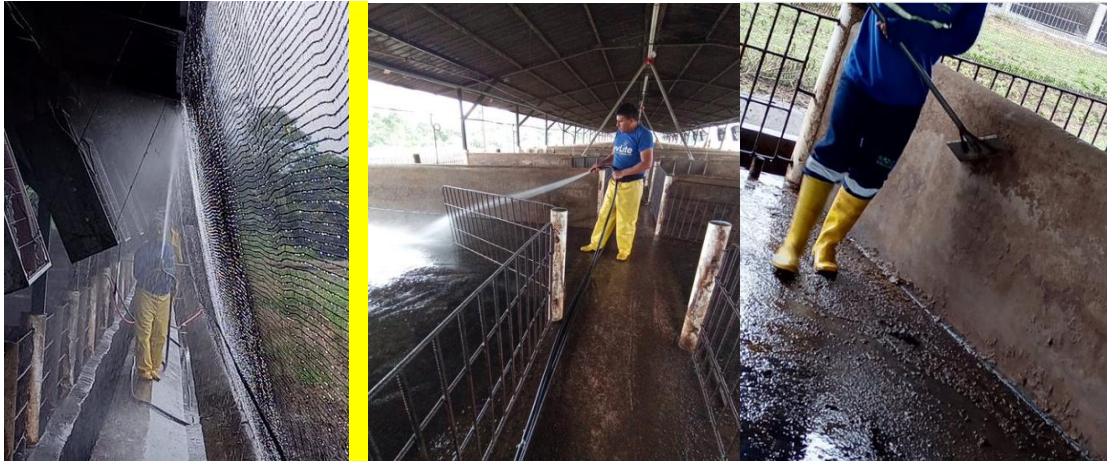
Una vez aplicada la matriz de importancia de Conesa se concluye que la importancia de los impactos ambientales en las operaciones de lavado evaluados en la **Tabla 4** es el uso excesivo de agua en el remojado y lavado de corrales con valores de -68 que significa un impacto severo, la presencia de gases como el metano, ácido sulfhídrico y Amoniacó con un valor de -48 es un impacto moderado; la **Tabla 5** muestra que en la operación de desinfección se usa químicos y genera un impacto negativo de -38 siendo un impacto moderado y en la operación de descarga de aguas residuales **Tabla 6** se obtiene un impacto crítico con un valor de -76 por las aguas descargadas sin tratamiento y la emisión de gases y olores genera un impacto severo de -54 lo que induce a que es importante tomar acciones para reducir el impacto generado por la descarga de aguas residuales.

## **Evidencias del impacto generado en la granja San Fernando**

Las operaciones que se llevan a cabo en el lavado de corrales de cerdos muestran afectaciones al ambiente por lo que es importante tomar acciones que le permita a la granja San Fernando reducir la afectación al ambiente; a continuación, se presenta las evidencias del impacto ambiental generado.

## Figura 2

Fotografías del impacto en el agua.



**Nota.** En estas fotografías se muestra el impacto ambiental que se produce en el agua utilizada en el lavado de corrales en la granja San Fernando. Elaboración propia

### Área de estudio

Dominio: Tecnología, sociedad y hábitat sostenible

Línea de investigación: Ambiente y gestión de riesgos

Campo: Ingeniería Industrial

Área: Gestión Ambiental

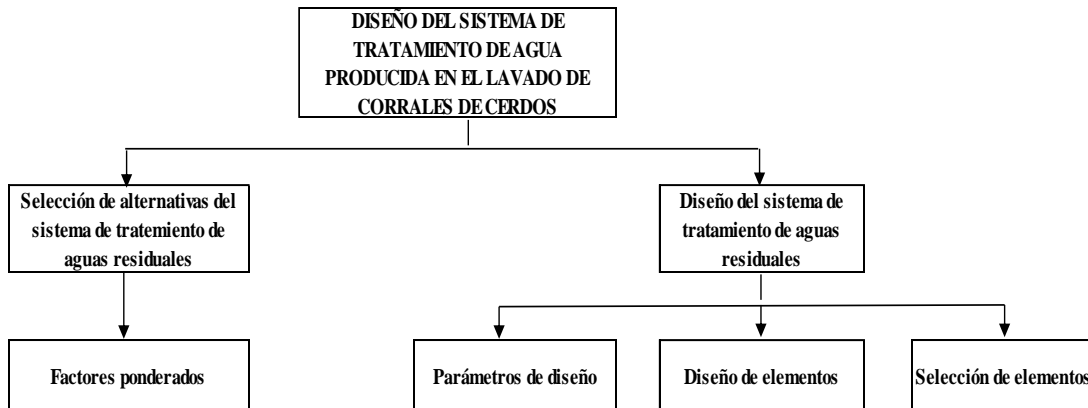
Objeto de estudio: Sistema de tratamiento de aguas residuales para el lavado de corrales de cerdos en la granja San Fernando.

Periodo de análisis: 2021-2022

## Modelo Operativo

Figura 3

Modelo Operativo



**Nota.** En esta figura se muestra el modelo operativo para la presente investigación. Elaboración propia.

### Desarrollo del Modelo Operativo

**Selección de alternativas del sistema de tratamiento de aguas residuales.** - Mediante el planteamiento de alternativas se realiza el análisis de diferentes opciones que podrían dar la solución a la problemática presente en el lavado de corrales de cerdos en la finca San Fernando, logrando minimizar el impacto ambiental provocado por el uso del agua. Para la evaluación de la mejor opción se lo ejecutará a través de la metodología de factores ponderados.

**Factores ponderados.** - Es un método que se utiliza de manera cuantitativa para seleccionar la alternativa que mejor se adapta a los parámetros de selección considerando dos o más opciones que den solución a un problema determinado; lo importante de esta metodología es dar un peso relativo a los factores utilizados para su selección, por lo tanto, se tomará la opción más idónea.

**Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.** - Para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales se debe tomar en cuenta las particularidades y elementos que componen la alternativa seleccionada, una vez identificado las características se desarrollará la siguiente estructura: determinación de los parámetros de diseño, el desarrollo del diseño y la selección de elementos a utilizar en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

**Parámetros de diseño.** - Los parámetros de diseño responden a los datos obtenidos en la finca San Fernando tomando en consideración las instalaciones del lugar para el montaje y funcionamiento del sistema contemplando la capacidad e infraestructura, la cantidad de agua utilizada, la geometría de los corrales y la proyección de cerdos a ubicarse en los mismos.

**Diseño de elementos.** - En el diseño de elementos se debe considerar el tipo de esfuerzo a realizar en función a los diferentes acabados superficiales que se realizara en el sistema de extracción, existe en el mercado nacional diversas alternativas de materiales eficientes de bajo costo y de buena calidad, obteniendo características positivas para una futura implementación en la planta de hormigón

**Selección de elementos.-** Para la selección de elementos se debe analizar los existentes en el mercado nacional, el rendimiento que le aporta para el tratamiento de aguas producidas por el lavado de corrales de cerdos y de ser posible su reutilización en el proceso correspondiente, contribuyendo con el uso racional de este recurso.

## CAPÍTULO III

### PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

#### **Presentación de la propuesta**

En base a la situación actual de la granja San Fernando se evaluó mediante la matriz proporcionada por Vicente Conesa con la cual se valoró los impactos ambientales que mayor contaminación generan son el agua por su excesivo uso y descarga sin tratamiento al suelo y la generación de aguas subterráneas que se generan por el lavado de corrales de cerdos de baja escala, en función de estas consideraciones se determinó que es necesario atender esta situación mediante un sistema de tratamiento de aguas residuales como propuesta de solución a la conservación del ambiente y a evitar el alto consumo de agua en el proceso antes mencionado.

#### **Características de las aguas residuales porcinas**

Las aguas residuales porcinas presentan características que permiten evaluar los tipos de contaminantes físicos-químicos y microbiológicos presentes en el cuerpo de agua residual. Los parámetros físicos-químicos y microbiológicos típicos se muestran a continuación. (Loose, 2017)

- pH
- Temperatura (°C)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5 *Mg/L*)
- Demanda química de oxígeno (DQO *Mg/L*)
- Sólidos totales (ST *g/L*)
- Sólidos suspendidos totales (SST *g/L*)



- Fósforo (P)
- Nitrógeno Total (NT)

Luego por métodos de análisis de laboratorio permiten contrarrestar si los datos registrados se encuentran dentro de los rangos máximos permisibles establecidos en el marco normativo legal de cada región o país. De no ser así, deberán incorporar tratamientos o sistemas de remediación. (Loose, 2017)

### **Sistema de tratamiento de aguas residuales**

Un sistema de tratamiento de aguas residuales está constituido por líneas de operaciones que interactúan entre sí para mejorar las características fisicoquímicas, así como para separar los lodos que se generan de la crianza de cerdos; por lo general se inicia con un pretratamiento, luego con un tratamiento primario, después por un tratamiento secundario y terciario para a continuación descargar las aguas a un efluente o cuerpo receptor.

El tratamiento primario está considerado para separar los sólidos a través de un sedimentador o separador de grasas que se lo consigue mediante flotadores o tratamiento físico químicos. En el tratamiento secundario se elimina la materia orgánica con la ayuda o intervención de un reactor biológico o un sedimentador secundario de ser el caso; es decir se trata de eliminar la demanda biológica de oxígeno DBO; en el tratamiento terciario se elimina elementos tales como fósforos, nitrógenos, metales pesados, entre otros. A este sistema se le puede añadir como complemento la coagulación y floculación con el fin de eliminar totalmente los sólidos; de igual manera se puede remover color y olor con la intervención de filtros de carbón activado.

La desinfección de los corrales tiene el propósito de eliminar microorganismos a través de la utilización de productos que contengan cloro, piscinas de oxidación, luz ultravioleta, para

mencionar algunos de ellos. Los lodos también pueden ser tratados mediante digestores anaerobios o aerobios y la deshidratación de los mismos.

### **Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales**

Para el diseño del sistema de tratamiento de aguas utilizadas en el lavado de corrales de cerdos en la granja debe considerarse situaciones como por ejemplo la confiabilidad, flexibilidad, requerimientos técnicos del personal a operar el sistema, control del proceso, costos de operación y mantenimiento; algo que también se debe tener presente para el diseño es que los sistemas de tratamiento de aguas residuales debe responder a los requerimientos propios de la granja San Fernando; es decir, depende del caudal generado en el sitio, de los datos climatológicos y de las características requeridas para la reutilización luego del tratamiento.

Las aguas residuales porcinas son el resultado del consumo de agua, están formadas por deyecciones de cerdos, trazas de antibióticos, desperdicios de alimentos, y subproductos utilizados para la limpieza de corrales. Debido a su origen poseen grandes cantidades de materia orgánica o también llamados purines, nutrientes en altas proporciones especialmente el fosforo, nitrógeno y potasio, y en menores proporciones a los metales pesados, (Larios, 2016).

El tratamiento de aguas de origen porcinas permite reducir la carga contaminante orgánica e inorgánica presente en el caudal residual, por lo general este tipo de fuente posee en mayor cantidad de materia orgánica, macronutrientes, micronutrientes y carga de metales pesados en pequeñas proporciones. Los tratamientos más usuales que se utiliza consisten en una combinación de procesos entre tratamientos primarios, secundarios y terciarios. El tipo de tratamiento a emplear depende íntimamente de los niveles de contaminación en el que se

encuentre el caudal residual. A continuación, se mencionan los tratamientos comúnmente utilizados, (Aguilera, 2018).

- Tratamientos físicos
- Tratamientos químicos
- Tratamientos biológicos

**Tratamientos Físicos:** La aplicación de los tratamientos físicos depende del tipo de contaminante del cuerpo de agua residual, inicialmente para apartar los residuos o fracciones de estos, se utilizan frecuentemente cribas o también llamadas rejas, seguido de operaciones de desarenado, en el cual este material pétreo tiene como finalidad retener partículas de grasas y aceites, complementados por procesos de coagulación, floculación, para así separar partículas suspendidas por acción de la gravedad (Sarabia, 2015)

(Agrodigital, 2021) plantea que la separación sólido-líquido, como primera etapa sencilla del tratamiento, cede a dividir el purín en dos fracciones, lo cual corresponde a una fase sólida y líquida, que presentan un alto contenido en nutrientes que corresponde especialmente de fósforo y nitrógeno una fase líquida. En la separación no cambia el contenido de las sustancias de los efluentes, pero se necesita una redistribución de estos componentes para mejorar la capacidad de gestión y cuidado del entorno, los elementos sólidos pueden reutilizarse o exportarse a zonas con plantaciones que requieran tener un mejoramiento del cultivo, ya que los purines permiten obtener nutrientes que en un momento determinado se convierta en producto comercializable.

**Tratamientos Químicos:** Este tipo de tratamiento es utilizado para eliminar sustancias que se encuentran mezcladas en el agua, dependiendo de la clase de contaminante persistente se usan

productos de origen sintéticos más adecuados, para que estos reaccionen y favorecer la eliminación, (Ortega, 2015).

**Tratamientos Biológicos:** Lagunas de estabilización, llamadas también lagunas de oxidación se construyen abiertamente el agua pasa a través de una cuenca, edificada especialmente para tratar aguas residuales, tiene una estructura sencilla que sirve para almacenar agua de poca profundidad con tiempo variable de conservación de este líquido que puede durar hasta 40 días, los excedentes de agua se descargan en las lagunas de estabilización para realizar el proceso de autodepuración o estabilización natural (Moret Chiape, 2014) indica que estas lagunas de estabilización tienen el propósito de recoger las aguas residuales de la materia orgánica que causa la contaminación y pueden ocasionar severo daño al medio ambiente, elimina microorganismos perjudiciales que representan un grave peligro para la salud y la vida del ecosistema, al mismo tiempo, se puede reutilizar los efluentes con diferentes finalidades agrícolas. Escalante Estrada & Alarcón Hernández (2012) establecen que debido al alto contenido de sólidos que están presentes en las aguas residuales de las industrias porcícolas, es indispensable de una separación física previo al tratamiento por lagunas de estabilización, las granjas porcinas tienen las particularidades de generar efluentes con alta carga físicas y químicas, esto se debe a la concentración de muchos animales en espacio reducido, residuos penetrantes debido al alto grado de proteína y al mal manejo del agua en las granjas.

(Vicari, 2012) cita que las lagunas aerobias funcionan como biorreactor o recipiente que mantiene el ambiente biológicamente activo, debido que son estanques poco profundos que están diseñadas con la finalidad de propagar la penetración de la luz a la vez favorecer el crecimiento de algas, por ende, esta produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas. La laguna

de maduración tiene como propósito principal la reducción de bacterias patógenas, estos estanques tienen la función de volcar las aguas tratadas en los receptores finales para ser reutilizadas en la agricultura.

#### Lagunas aeróbicas aireadas mecánicamente

(Vicari, 2012) señala que estas lagunas aireadas configuran un proceso de tratamiento biológico natural, observan el uso de organismos celulares similares con técnicas convencionales que incorporan componentes mecanizados para la transferencia de oxígeno, dado a que se airean de forma mecánica, la superficie necesaria de laguna es mínimo, los tiempos de detención son más cortos que varían de 3 a 10 días y la carga orgánica al ser degradada es mayor. Las lagunas aireadas son espacios donde los microorganismos respiran oxígeno para vivir o desarrollarse, este proceso se realiza mediante aireadores mecánicos que suministra oxígeno, mantienen a los organismos aerobios en suspensión y se mezclan con el agua para alcanzar una elevada degradación orgánica.

#### **Selección del método más adecuado mediante la aplicación de la matriz de factores ponderados**

Para la selección del método más idóneo para el sistema de tratamiento de aguas residuales porcinas y del lavado de corrales en la granja San Fernando se lo llevó a cabo mediante la aplicación de la matriz de factores ponderados a los dos métodos más significativos para la granja San Fernando debido a que se acomodan a las solicitudes de los propietarios tomando en cuenta la geografía, clima y ubicación de esta empresa; para ello se estableció indicadores de valoración con el fin de cuantificar de manera objetiva el método a presentar en la propuesta.

## Tabla 7

Indicadores de valoración

Indicadores	Valor
Muy satisfactorio	3
Satisfactorio	2
Poco satisfactorio	1

**Nota.** En la tabla se muestra los indicadores de valoración para la matriz de priorización. Elaboración propia

### Parámetros de selección del método de tratamiento de aguas residuales

Para establecer los parámetros de selección con el que se evaluarán los métodos fisicoquímicos y el método biológico como las dos opciones que se pueden aplicar en la granja San Fernando y que deben acomodarse a los criterios de los propietarios de la granja: en base a lo mencionado se ejecuta una ejemplificación de calificación de la matriz de factores ponderados el resultado se ubica en la **Tabla 8**.

Ejemplo:

Adquisición de materiales

$$1 (\text{valor del indicador}) * 0.15(\text{porcentaje de ponderación}) = 0.15$$

**Tabla 8**

Matriz de factores ponderados para la selección del método de tratamiento de aguas residuales

<i>Parámetros de selección</i>	<i>Ponderación %</i>	<i>Opción 1 Método Físico químico</i>	<i>Opción 2 Método biológico</i>
Adquisición de materiales	15	0,30	0,45
Facilidad de construcción	20	0,60	0,40
Funcionalidad	20	0,40	0,60
Costo bajo de construcción	30	0,60	0,90
Reutilización de aguas residuales	5	0,10	0,15
Obtención de biogás	10	0,10	0,30
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2,1</b>	<b>2,8</b>

**Nota.** En la tabla se muestra la matriz de factores ponderados para la selección del método de tratamiento de aguas residuales. Elaboración propia.

En función de la evaluación efectuada el método que mejor responde a los parámetros de selección es la opción 2 con un valor de 2,8 que resulta ser muy satisfactorio para el sistema de tratamiento de aguas residuales de la granja San Fernando y la reutilización del gas producido, así como de las aguas tratadas. Un método biológico se acomoda de muy buena manera para la obtención de biogás producto de la composición de las aguas residuales de cerdos y del lavado de los corrales que se lo hace de manera periódica durante todo el año y está conformada por elementos tales como rejillas, trampa de grasas, colector de aguas residuales, biodigestor, válvulas, tuberías y tanques de almacenamiento; los mismos que se tomarán en cuenta para el diseño y selección de estos elementos.

Para la selección de uno de los componentes principales como es el biodigestor se evaluará dos opciones de materiales sintéticos flexibles; un biodigestor de plástico polietileno de invernadero y otro un biodigestor en geomembrana de PVC que permitan generar biogás para otros usos de la manera más adecuada posible tal como se muestra en las figuras *Figura 4* y *Figura 5*

#### **Figura 4**

Biodigestor de plástico polietileno de invernadero



**Nota.** En la figura se muestra los elementos que conforman el biodigestor de laguna abierta. Adaptado de (Ministerio d energía y GIZ, 2012)

#### **Figura 5**

Biodigestor en geomembrana de PVC



**Nota.** En la figura se muestra el biodigestor en geomembrana de PVC. Adaptado de Agroshow



## Evaluación del biodigestor para la generación de biogás

Se utilizará la misma escala presentada en la *Tabla 7* Y los indicadores que se muestran en la *Tabla 9*

**Tabla 9**

Matriz de selección del tipo de biodigestor del sistema de tratamiento de aguas residuales

<i>Indicadores</i>	<i>Ponderación %</i>	<i>Biodigestor de plástico de invernadero</i>	<i>Biodigestor de geomembrana PVC</i>
Durabilidad	30	0,60	0,90
Costos	20	0,60	0,40
Operación	15	0,30	0,45
Mantenimiento	10	0,10	0,20
Remoción	25	0,25	0,50
Total	100%	1,85	2,45

**Nota.** En la tabla se muestra la matriz de factores ponderados para la selección del biodigestor.

Elaboración propia

Cómo se puede observar en la *Tabla 9*, para el diseño del biodigestor el más adecuado es el material en geomembrana PVC que resiste de mejor manera a las condiciones a las que va a ser expuesto en la granja San Fernando.

### Diseño del sistema de aguas residuales para la granja San Fernando

El sistema de digestión anaerobia para el que aplican las presentes especificaciones técnicas es aquel que procesa residuos orgánicos procedentes de establos o granjas porcícolas (Sagarpa, 2010).

El volumen del biodigestor depende de la cantidad y tipo de sustrato y de la temperatura ambiente, ya que influyen directamente en la carga orgánica volumétrica (COV) y en el tiempo de retención hidráulico (TRH). El dimensionamiento de la planta de tratamiento comprende el cálculo de los siguientes elementos:

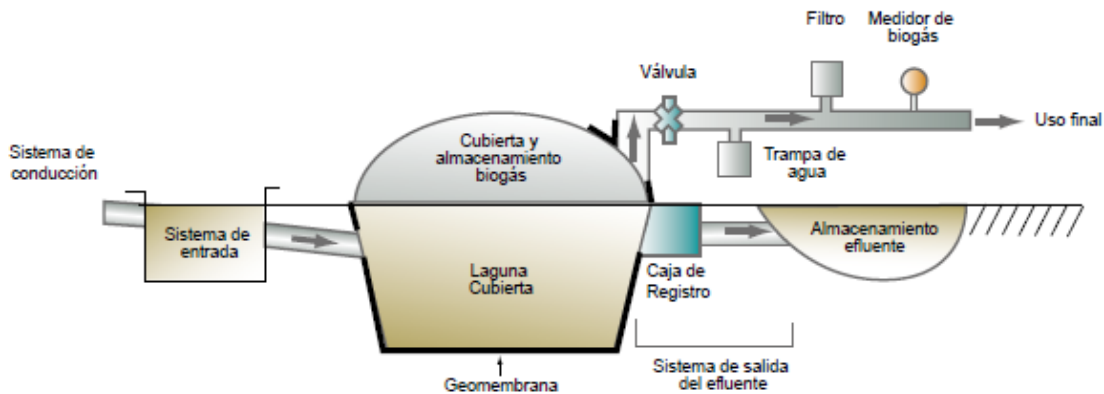
- Rejillas
- Tanque colector
- Biodigestor anaerobio
- Tratamiento posterior para cumplir con los límites máximos permisibles (LMP) de descarga de agua para riego agrícola.

El diseño de los elementos del sistema de tratamiento de aguas residuales de cerdos se los lleva a cabo a través del diseño y selección de los elementos que intervienen en el pretratamiento como las rejillas, en el tratamiento 1 un tanque colector, en el tratamiento 2 un biodigestor de membrana de PVC y un tratamiento final a través de un tanque de almacenamiento de agua para riego de la granja San Fernando, complementado con el almacenamiento del gas generado para uso de calentamiento de corrales. A continuación, se presenta los correspondientes cálculos en función del diseño preliminar de la planta de tratamiento:

## Diseño geométrico preliminar

Figura 6

Sistema de tratamiento de aguas residuales



**Nota.** En la figura se muestra el diseño preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales para la granja San Fernando. Elaboración propia.

### Parámetros de diseño

- Las dimensiones otorgadas para la instalación del sistema de tratamiento de agua son de 60m de largo y 3m de ancho; será instalado en la granja San Fernando en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Durante el año mantiene temperaturas entre 23 y 25°C, tiene un clima tropical húmedo y se encuentra a 655 msnm.
- La granja tiene 8 corrales con 24 cerdos; es decir un promedio de 192 porcinos
- Un cerdo consume un promedio de 20 litros por día
- Los sólidos totales presentes promedio es del 1,5%

- Los sólidos volátiles en base seca recomiendan autores considerar el 80%

### **Diseño del pretratamiento de aguas residuales**

Para la primera fase del sistema se considera el tanque 1 (pretratamiento), el mismo que tiene como finalidad retirar del agua los sólidos que no contribuyen o dañan los elementos del tratamiento primario; para esto se procede con el cálculo de rejillas.

### **Rejillas**

Las rejillas son un conjunto de barras que se colocan previo al ingreso del agua a un colector o recipiente de almacenamiento de aguas residuales. Para el diseño de las rejillas como el primer elemento de retención y tratamiento se lo lleva adelante considerando parámetros recomendados

### ***Anexos 1***

#### ***Determinación del área libre entre barras***

Para el cálculo del área entre barras se requiere previamente establecer el caudal y la velocidad de aproximación

$$Al = \frac{Q}{v_a} \quad (2)$$

Dónde  $Q$  es el caudal en  $\frac{m^3}{s}$  y  $v_a$  es la velocidad de aproximación en  $\frac{m}{s}$

Por lo tanto, se determina el caudal total producido en la granja San Fernando de la siguiente manera:

- El consumo de agua que requiere un cerdo por día que es 20 litros
- El consumo de agua para el lavado de corrales 1000 litros por corral un día cada mes

- Se tiene 8 corrales en la granja y 24 cerdos por corral

$$Q_t = Q_1 + Q_2 \quad (3)$$

Donde  $Q_1$  es el caudal de consumo de agua por crianza de cerdos y  $Q_2$  es el

caudal utilizado por lavado de corrales en  $\frac{m^3}{día}$

$$Q_1 = N^{\circ} \text{ cerdos} \times 20 \frac{l}{\text{cerdo} \cdot \text{día}} \quad (4)$$

$$Q_1 = 192 \text{ cerdos} \times 20 \frac{l}{\text{cerdo} \cdot \text{día}}$$

$$Q_1 = 3840 \frac{l}{día}$$

$$Q_1 = 3,84 \frac{m^3}{día}$$

$$Q_2 = N^{\circ} \text{ corrales} \times 1000 \frac{l}{\text{corral} \cdot \text{día}} \quad (5)$$

$$Q_2 = 8 \times 1000 \frac{l}{\text{corral} \cdot \text{día}}$$

$$Q_2 = 8000 \frac{l}{día}$$

$$Q_2 = 8 \frac{m^3}{día}$$

Reemplazando en la ecuación 2 se obtiene el caudal total de agua que se debe tratar en la planta de tratamiento.

$$Qt = 3840 \frac{l}{\text{día}} + 8000 \frac{l}{\text{día}}$$

$$Qt = 11840 \frac{l}{\text{día}} = 11,84 \frac{m^3}{\text{día}} = 1,37 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Para el cálculo de la velocidad de aproximación se toma en consideración la recomendación del

*Anexos I* velocidad de aproximación  $0,45 \frac{m}{s}$

la ecuación 2 se procede a determinar el área entre barras:

$$Al = \frac{1,37 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{0,45 \frac{m}{s}}$$

$$Al = 3,05 \times 10^{-4} m^2$$

*Área de la sección transversal del flujo*

$$Af = Al \times \frac{c+e}{c} \quad (6)$$

Dónde c es la separación entre barras y e es el espesor de las barras en m y estos valores se consideran en referencia del anexo 1

$$Af = 3,05 \times 10^{-4} m^2 \times \frac{0,03 + 0,01}{0,03}$$

$$Af = 4,06 \times 10^{-4} m^2$$

### ***Longitud sumergida de la rejilla***

Para realizar este cálculo se debe determinar el nivel máximo de agua

$$Nmáx = \frac{Q}{v_a \times a} \quad (7)$$

Dónde a es el ancho de la rejilla

$$Nmáx = \frac{1,37 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{0,45 \frac{m}{s} \times 0,01m}$$

$$Nmáx = 0,03 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$Ls = \frac{Nmáx}{\text{Sen}\theta} \quad (8)$$

Donde  $\theta$  es el ángulo de inclinación de la rejilla y se recomienda que debe estar entre 44 y 60°

$$Ls = \frac{0,03}{\text{Sen}50}$$

$$Ls = 0,04m$$

### ***Longitud de barras de la rejilla***

$$Lb = \frac{Hs}{\text{Sen}\theta} \quad (9)$$

Donde Hs es la altura de seguridad del tanque de almacenamiento:

$$Lb = \frac{1m}{\text{Sen}50}$$

$$Lb = 1,31m$$

### *Número de barras de la rejilla*

$$N^{\circ} = \frac{b}{e+s} - 1 \quad (10)$$

Donde b es el ancho del canal en m y s espesor máximo de las barras que se recomienda sean entre 25 y 50 mm

$$N^{\circ} = \frac{0,40m}{0,02 + 0,05m} - 1$$

$$N^{\circ} = 4,71 = 5 \text{ barras}$$

### *Pérdidas de carga a través de la rejilla*

Son las pérdidas de energía en función de las alturas antes y después de la rejilla

$$hl = \frac{1}{0,7} \left( \frac{v^2 - v_a^2}{2g} \right) \quad (11)$$

$$hl = \frac{1}{0,7} \left( \frac{0,5^2 - 0,45^2}{2 \times 9,81} \right)$$

$$hl = 0,0035m$$



## Diseño del tanque primario

El diseño del tanque primario tiene como función estabilizar el caudal de las aguas residuales y que se mantenga constante y con un efecto laminar, previo al biodigestor considerando como parámetros iniciales los siguiente:

- Material liso y con una inclinación hacia el desagüe
- Dimensiones de acuerdo al área del terreno de la granja San Fernando
- Relación largo ancho por recomendación no debe ser menor de 2:1
- El tanque primario será construido de hormigón y alimentado por un tubo de 4 pulgadas y se construirá al pie de la pendiente de la granja con el fin de aprovechar la gravedad.
- Las dimensiones del tanque serán de 3,5m de largo; 2,25m de ancho y 1,5m de alto.

Se procede a calcular el tiempo de llenado del tanque cuando se lava los corrales ya que es cuando más caudal se vierte.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (12)$$

Donde V es el volumen del tanque y t es el tiempo de llenado en días.

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t = \frac{12,02 \text{ m}^3}{11,84 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$t = 1,01 \text{ días}$$

Por lo tanto, el tiempo de llenado es el adecuado para que el agua consumida en ese día se almacene para proceder con el tratamiento del agua residual, y se abrirá la tapa para continuar su recorrido al biodigestor.

### **Diseño del biodigestor de membrana tubular flexible en PVC**

El biogás es el nombre que recibe la mezcla de gases producida en la digestión anaerobia, y se caracteriza por tener, en general, un 50 % -70 % de metano (CH<sub>4</sub>), 40-20 % de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y trazas de otros gases, entre los que cabe destacar el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S). Lo interesante es el metano producido, que es combustible. De esta forma, los residuos orgánicos tienen el potencial de producir un gas combustible como es el biogás. Además, la captura de este metano y su combustión (transformándolo en CO<sub>2</sub>) reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se produciría en la descomposición de los estiércoles sin tratamiento. Del otro lado está el fertilizante producido durante el proceso de digestión anaerobia dentro de los biodigestores llamado biol, efluente o digestato dependiendo del país. En el proceso de digestión anaerobia, los nutrientes (Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y otros) contenidos en los residuos orgánicos que entran en forma orgánica, se mineralizan, pasan a ser disponibles para la planta. (Martí, 2019)

## Figura 7

Sistema de tratamiento de aguas residuales



**Nota.** En la figura se muestra el diseño preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales para la granja San Fernando. Elaboración propia

Para el diseño del biodigestor se considera los parámetros que intervienen en su operación tales como la carga orgánica y la velocidad con la que se desplaza, el tiempo de retención hidráulico, la zanja donde se instalará el biodigestor y las dimensiones de este.

### *Carga orgánica*

Con el caudal determinado  $11840 \frac{\text{l}}{\text{día}}$  se procede a determinar la carga orgánica que es la masa contaminante que llegará al biodigestor con las aguas residuales, por lo tanto:

$$CO = \text{Concentración} \times Q \quad (13)$$

Donde CO es la carga orgánica o masa contaminante en  $\frac{kg}{día}$ , la concentración y caudal en  $\frac{l}{día}$

La concentración de masa contaminante está conformada por 1,5% de sólidos totales y el 80% de sólidos volátiles; por lo tanto:

$$Concentración = 1,5\% ST \times 80\% SV \quad (14)$$

Reemplazando la ecuación 13 en la ecuación 14 se tiene:

$$CO = 1,5\% ST \times 80\% SV \times Q$$

$$CO = 0,015 \times 0,8 \times 11840$$

$$CO = 142,08 \frac{kg}{día}$$

### ***Velocidad de carga orgánica (vCO)***

Para la determinación de la velocidad de la carga orgánica se considera la zona donde se va a mantener el biodigestor, la temperatura que en Santo Domingo de los Tsáchilas oscila entre 23 y 25°C; por recomendación la  $vCO = 0,8 - 1,0 \frac{kg}{m^3 \cdot día}$  por lo tanto se toma el valor de  $0,9 \frac{kg}{m^3 \cdot día}$ .

### *Volumen líquido del biodigestor*

$$V_{liq} = \frac{CO}{vCO} \quad (15)$$

$$V_{liq} = \frac{142,08 \frac{kg}{día}}{0,9 \frac{kg}{m^3 \cdot día}}$$

$$V_{liq} = 157,87 m^3$$

### *Tiempo de retención hidráulico*

$$Trh = \frac{V_{liq}}{Q} \quad (16)$$

$$Trh = \frac{157,87 m^3}{11,84 \frac{m^3}{día}}$$

$$Trh = 13,33 \text{ días} = 14 \text{ días}$$

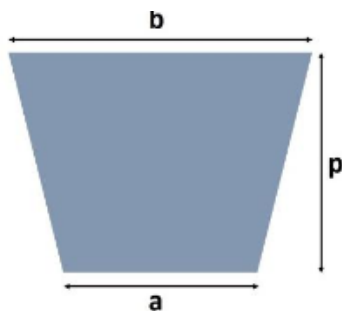
## ***Dimensionamiento de la zanja del biodigestor***

Los biodigestores se caracterizan por tener las siguientes conformaciones:

- 10% fase líquida y 90% fase gaseosa
- 20% fase líquida y 80% fase gaseosa
- Profundidades máximas de 2m
- Talud 10°
- Circunferencia de 8m existente en el mercado

### **Figura 8**

Zanja trapezoidal del biodigestor



**Nota.** En la figura se muestra el diseño preliminar de la zanja trapezoidal del biodigestor para la granja San Fernando. Elaboración propia

Para obtener la mayor eficiencia volumétrica de la bolsa del biodigestor se debe escoger la relación 20% fase gaseosa y 80% fase líquida y con la profundidad de 2 m y 10° en el **Anexos 4** se tiene

- Factor  $a = 0,26$
- Factor  $b = 0,71$

Con los datos obtenidos se determina:

**Ancho mayor (b)**

$$b = \text{circunferencia del biodigestor} \times \text{Factor } a \quad (17)$$

$$b = 8m \times 0,26$$

$$b = 7,74m$$

**Ancho menor (a)**

$$a = b - \text{Factor } b \quad (18)$$

$$a = 7,74m - 0,71$$

$$a = 7,03m$$

**Largo del biodigestor**

$$L = \frac{V_{liq}}{At} \quad (19)$$

Donde L es el largo del biodigestor en m y  $At$  es el área transversal en  $m^2$

$$At = \frac{a+b}{2} \times \text{profundidad} \quad (20)$$

$$At = \frac{7,03m + 7.74m}{2} \times 2m$$

$$At = 14,77 \text{ m}^2$$

Reemplazando en la ecuación 19 se obtiene el largo del biodigestor

$$L = \frac{157,87 \text{ m}^3}{14,77 \text{ m}^2}$$

$$L = 10,68 \text{ m} = 11 \text{ m}$$

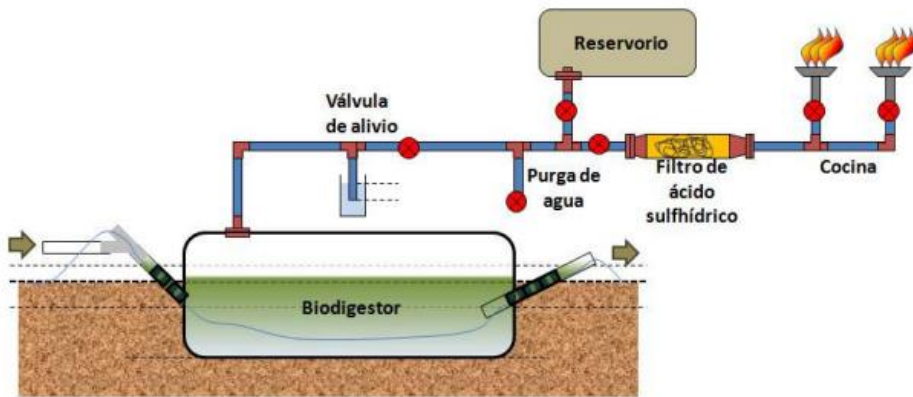
### **Generación de gas**

Como se consideró anteriormente se aprovechará el gas que produzca el tratamiento de las aguas residuales de la granja San Fernando con la propuesta del biodigestor y en función del aprovechamiento de la eficiencia con la relación 20% fase gaseosa se tendría  $1.184 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$  de gas que podría ser utilizado para calentar los corrales luego del lavado de los mismos. La inclinación del biodigestor no deberá sobrepasar los 2 o 3° para evitar que la mezcla no fluya demasiado rápido.



**Figura 9**

Esquema básico de todos los componentes que integran un biodigestor



**Nota.** En la figura se muestra el esquema de las partes que constituyen el sistema de utilización del biogás. Elaboración propia.

### Diseño del tanque secundario

Este tanque tiene como finalidad mejorar las condiciones del agua tratada para reutilizarla en regadío de la granja San Fernando.

- Las dimensiones del tanque serán de 4m de largo, 3m de ancho y 1m de alto.

Se procede a calcular el tiempo de llenado del tanque cuando se separa la parte líquida que corresponde al 80 % del caudal de inicio y aplicando la ecuación 10 se obtiene.

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t = \frac{12 \text{ m}^3}{9,47 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$t = 1,27 \text{ días}$$

Por lo tanto, el tiempo de llenado es el adecuado para que el agua tratada en el biodigestor se almacene para proceder con el mejoramiento de las características fisicoquímicas.

En el tanque 2 se colocará arenas de diferente granulometría con el fin de separar restos de sólidos que no se disecaron en el biodigestor y luego el agua de ser necesario se instalará otro tanque con carbón activado para mejorar las características del agua y que pueda ser utilizada en el remojo de los corrales en el siguiente lavado de corrales o en el riego de la granja.

### **Resultados esperados**

Los resultados esperados con el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la granja San Fernando se espera reducir el impacto ambiental en el uso y aprovechamiento del recurso agua; a la vez que se espera reutilizar estas aguas para regadío de la granja. De igual manera el gas generado en el biodigestor permitirá utilizar para el calentamiento de corrales y para uso de la cocina de los cuidadores de la granja.

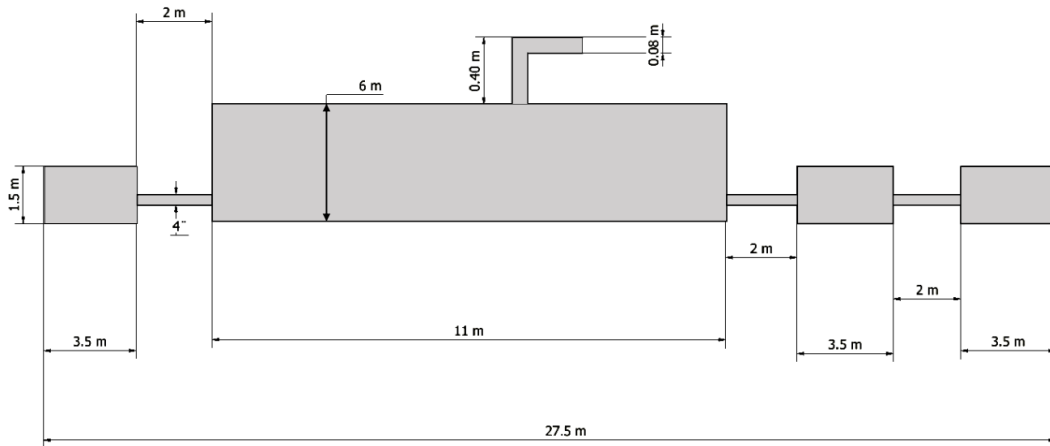
A continuación, se presenta los elementos principales que conforman el sistema de tratamiento de aguas residuales que se producen en el lavado de corrales de cerdos en la granja San Fernando.

- Rejillas
- 3 tanques de almacenamiento de aguas residuales denominados como tanque 1, 2 y 3
- Biodigestor

A continuación, se presenta en la como resultados esperados los esquemas de como quedaría el sistema de tratamiento para lavado de corrales de cerdo.

**Figura 10**

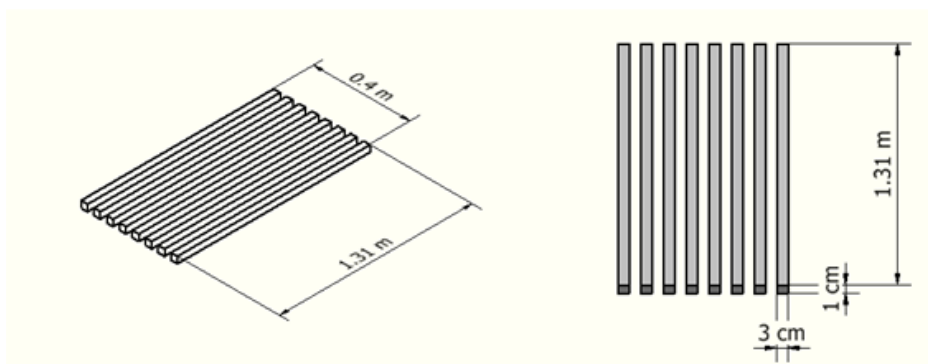
*Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales*



**Nota.** En la figura se muestra el esquema del sistema de tratamiento de aguas producto del lavado de corrales de cerdos. Elaboración propia 2023.

**Figura 11**

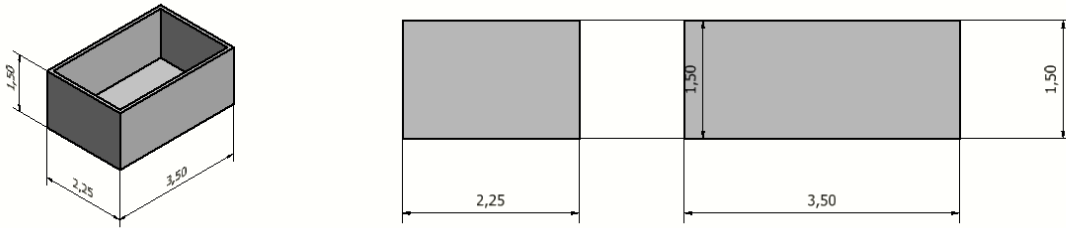
*Esquema de la rejilla*



**Nota.** En la figura se muestra el esquema del sistema de tratamiento de aguas producto del lavado de corrales de cerdos. Elaboración propia 2023.

## Figura 12

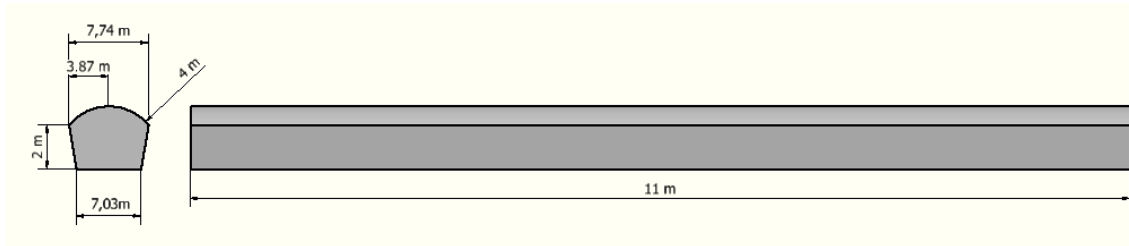
*Esquema de los tanques*



**Nota.** En la figura se muestra el esquema de los tanques sistema de tratamiento de aguas producto del lavado de corrales de cerdos. Elaboración propia 2023.

## Figura 13

*Esquema del biodigestor*



**Nota.** En la figura se muestra el esquema del biodigestor para extracción del gas de las aguas residuales. Elaboración propia 2023.

## Análisis de costos

Para el análisis de costos se toman los siguientes puntos:

- Materiales para construcción de los tanques de almacenamiento
- Materiales para la construcción de la rejilla y canal
- Mano de obra para la construcción de la zanja para el biodigestor
- Biodigestor
- Diseño y equipos de oficina

**Tabla 10**

Análisis de costos de materiales

<b>Materiales</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
2	Materiales para construcción de los tanques de almacenamiento	500.00	1000.00
1	Materiales para la construcción de la rejilla y tuberías	150.00	150.00
1	Mano de obra para la construcción de la zanja para el biodigestor	450.00	450.00
1	Biodigestor	2000.00	2000.00

1	Diseño y equipos de oficina	200.00	200.00
<b>TOTAL</b>			<b>3.800,00</b>

---

**Nota.** En la tabla se muestra el análisis de costos de materiales a utilizar para la elaboración del sistema de tratamiento de aguas residuales. Elaboración propia

## Cronograma de implementación de la propuesta

REQUERIMIENTO	ITEM	ACTIVIDAD	DURACIÓN	RECURSOS			RESPONSABLE	NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO			
				ECONÓMICO	HUMANO	TECNOLÓGICO		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. SOCIALIZACIÓN	1.1	Presentación del proyecto al gerente general	1 Semana		X	X	Juan Sevillano	■											
	1.2	Aprobación de la propuesta	1 Semana		X		Gerente General		■										
	1.3	Cotización y compra de los materiales y mano de obra	1 Semana	X	X	X	Compras			■									
2. CONSTRUCCIÓN	2.1	Construcción de los tanques de almacenamiento	1 Semana	X	X	X	Juan Sevillano				■								
	2.2	Construcción de la rejilla y canal	1 Semana	X	X	X	Juan Sevillano					■							
	2.3	Construcción de la zanja para el biodigestor	1 Semana	X	X	X	Juan Sevillano						■						
3. INSTALACIÓN	3.1	Instalación del Biodigestor	1 Semana	X	X	X	Juan Sevillano							■					
	3.2	Instalación del sistema de extracción de gas	1 Semana	X	X	X	Juan Sevillano								■				
4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	4.1	Pruebas de funcionamiento	1 Semana	X	X	X	Juan Sevillano									■			
	4.2	Información de las pruebas para puesta en marcha	1 Semana	X	X	X	Juan Sevillano										■		

**Nota:** Se presenta el cronograma de implementación de la propuesta. Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

- Una vez realizada la visita en campo de la granja San Fernando se observó las operaciones que se llevan a cabo en el lavado de corrales de cerdos y se procedió con la aplicación de la metodología causa efecto de Vicente Conesa, con la cual se determinó que los aspectos ambientales que mayor impacto al ambiente provocan son el excesivo uso de agua con un valor de -68 con significación severa, en la desinfección de los corrales con aguas contaminadas presenta un valor de -38 con un impacto moderado y en la descarga de aguas residuales con un valor de -76 que corresponde a un impacto crítico; por lo que se deben establecer medidas de control para reducir la afectación al ambiente.
- La metodología de factores ponderados permitió seleccionar la opción que mejor responde a los requerimientos de la granja San Fernando considerando la utilización de un biodigestor de geomembrana de pvc que permite por densidades extraer los gases del purín y del agua; además luego de un tiempo de retención hidráulica se puede continuar con el tratamiento de las aguas generadas para ser utilizadas en otras actividades y el compost disecado, reduciendo el impacto ambiental generado en la granja.
- La planta de tratamiento de agua residual porcina (PTAR) está conformada por una rejilla con 5 barras para retener residuos sólidos, un tanque primario de  $12 \text{ m}^3$  para estabilizar las aguas y conducir mediante tubería plástica al biodigestor de geomembrana de pvc cuyas dimensiones son de circunferencia 8m y 11 m de largo, generando un aproximado de  $1 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$ , de gas que podrá ser utilizado en el calentamiento de los corrales o en el área de



la cocina de la granja o ser quemado directamente y las aguas que salen se almacenan en el tanque secundario donde se instalará arenas de diferente granulometría y de ser el caso se instalará un tercer tanque para en base a una dosificación de cloro enmarcar a los límites necesarios y ser utilizados en el regadío de la finca, dando solución a los impactos ambiental significativos.

### **Recomendaciones**

- Establecer medidas de control para los impactos de menor significancia moderados con el fin de contribuir al cuidado ambiental del ecosistema y complementar con el tratamiento de lodos para proteger el suelo de la granja San Fernando.
- Dotar de equipos de protección personal a los trabajadores de la finca para evitar el contacto con elementos químicos para preservar la salud de todos los colaboradores.
- Implementar la propuesta de solución para el tratamiento de aguas residuales en función del diseño presentado y acorde a los presupuestos considerados,

## Bibliografía

- Aguilera, S. (2018). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia , a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista científica de FAREM-Estelí*.
- Carrero. (2005). *Manual de aguas residuales porcinas*.
- Conesa Fernandez, V. (1997). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Na, N 3 (ediciones Mundi-Prensa. Obtenido de <http://www.sinab.unal.edu.co/?=node/46>
- FAO. (2015).
- Gonzalez. (2018). *abc*. Quito: Limusa.
- IMTA. (01 de 2021). <https://doi.org/10.24850/b-imta-2021-01>. Obtenido de <https://www.gob.mx/imta/documentos/guia-para-el-tratamiento-de-las-aguas-residuales-porcinas>
- Larios, L. (2016). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 9-34.
- Loose, D. (2017). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, .
- Martí. (2019). *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*. Quito: Redbiolac.
- Martínez, & Martínez González, B. A. (2019). *Evaluación de impactos ambientales en la industria porcina y propuestas en mejora en el manejo de purines. Estudio de caso. Informe de aprobación seminario de título. Santiago de Chile: Universidad de Chile, p. 89. Available at: . Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/175505/Evaluacion-de-impactos-ambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>*
- Ministerio del Ambiente. (2015). 'Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua', En: L. T. Nuñez, ed. *Anexo I, Libro VI de la calidad ambiental, del Texto unificados de la Legistación Secundaria del Ambiente.. Quito: Ministerio del ambiente, p. 40*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Moret Chiape. (2014). *Optimización de launas de estabilización mediante el uso de macrofitas*. Piura: Universidad de Piura.

- Ortega, L. (2015). *Principales métodos para la desulfuración del biogás*. Universidad Nacional de Colombia . Colombia: Ingeniería Hidráulica y Ambiental.
- Rodríguez, L. (05 de agosto de 2019). Obtenido de <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>
- Sarabia, M. (2015). Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales. . *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*,, 39-56.
- UNESCO. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017: Aguas residuales. El Recurso Desaprovechado*. Obtenido de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1\\_\\_15.247647s.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf) (Accessed: 17 February 2021).
- UTI. (2021). *Actualización de Líneas de Investigación*. <https://www.uti.edu.ec/~utiweb/wp-content/uploads/2021/05/2021-05-12-Actualizacion-de-lineas-de-Investigacion-1.pdf>.
- Vicari, M. (2012). *Efluentes en producción porcina en Argentina: Generación impacto ambiental y posible tratamientos*. Argentina: Universidad Católica .

## ANEXOS

### Anexos 1

*Parámetros para el diseño de rejillas para el tratamiento de aguas residuales*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Recomendado</b>	<b>Valor Escogido</b>
Ancho	m	0,005 - 0,015	0,005
Profundidad	m	0,025 - 0,038	0,0381
Espacio entre barras	m	0,015 - 0,05	0,02
Inclinación con la vertical	°	44 - 60	45
Velocidad de Aproximación.	m/s	0,30 - 0,60	0,45
Perdidas máxima de carga admisibles	m	0,01524	0,01524
Aceleración de la gravedad	m/s <sup>2</sup>	9,8	9,8

Fuente (Espín, 2013)

## Anexos 2

### Actividad porcina

Indicadores para la actividad porcina por animal equivalente (100Kg).

<b>Indicador</b>	<b>Cerdo equivalente</b>
DBO <sub>5</sub>	0.968
DQO	2.005
Nt	0.074
Pt	0.036
SST	0.58
Grasas	0.139
Consumo de agua	50 l/animal/d piso convencional 30 l/animal/d piso ranurado

Peso promedio de las especies existentes

<b>Especie</b>	<b>Peso Promedio (Kg)</b>
Ceba	41,5
Crías	3,75
Preceba	14,75
Verracos	120
Reproductoras	95
Cochinatas	52,50

Fuente: Bases de cálculo para el diseño de sistemas de tratamiento de residuales porcinos, EHH (INRH), CNIC (MES), 1989.

#### V.3.2 Despulpe de café

Activar Windc  
Ve a Configuraciór

### Anexos 3

#### Estiércol diario de cerdos

**Tabla 3:** Ejemplo de cálculo de de estiércol diario en una granja de cerdos

Cerdos	N° de animales	Peso promedio (Kg)	Kg de estiércol diario por cada 100kg de peso vivo (kg)	Peso vivo total (kg)	Estiércol diario (kg)*
madre	10	100	4	1000	40
joven	40	30	4	1200	48
lechón	30	2	4	60	2.4
				<b>TOTAL (kg)</b>	<b>90.4</b>

\*para hacer este cálculo se ha tomado el peso vivo total, se ha dividido por 100, y se ha multiplicado por los "kg de estiércol diario por cada 100kg de peso vivo".

**Tabla 5:** Mezcla con agua para la carga diaria

Estiércol	Relación estiércol:agua
<b>Vaca</b>	<b>1:3</b>
<b>Cerdo</b>	<b>1:4</b>
<b>Llama/oveja/cuy</b>	<b>1:8-9</b>

## Anexos 4

### *Eficiencia volumétrica de la bolsa del biodigestor*

Verma

Profundidad	Talud	1 m de profundidad				1,5 m de profundidad				2m de profundidad				
		10°	20°	30°	45°	10°	20°	30°	45°	10°	20°	30°	45°	
Fase 90% líquido: 10% gaseoso	Circunferencia bolsa	3	71%	66%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	84%	80%	73%	-	57%	-	-	-	-	-	-	-
		5	82%	79%	75%	-	79%	74%	-	-	47%	-	-	-
		8	65%	64%	62%	56%	80%	78%	74%	61%	84%	80%	73%	-
		10	56%	55%	54%	45%	72%	71%	68%	60%	82%	79%	75%	60%
		12	48%	48%	47%	44%	65%	64%	62%	56%	76%	75%	71%	61%
		15	40%	40%	39%	36%	56%	55%	54%	50%	68%	66%	64%	58%
		18	34%	34%	34%	33%	48%	48%	47%	44%	60%	59%	58%	53%
Fase 80% líquido: 20% gaseoso	Circunferencia bolsa	3	65%	66%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	86%	85%	79%	-	49%	-	-	-	-	-	-	-
		5	88%	86%	82%	67%	76%	76%	-	-	-	-	-	-
		8	72%	71%	69%	63%	87%	85%	81%	68%	86%	85%	79%	-
		10	62%	61%	60%	56%	80%	78%	76%	67%	88%	86%	82%	67%
		12	54%	54%	53%	50%	72%	71%	69%	63%	84%	82%	79%	68%
		15	45%	45%	44%	42%	62%	61%	60%	56%	75%	74%	71%	64%
		18	39%	38%	38%	37%	54%	54%	53%	50%	67%	66%	64%	59%

η (k)

## Factores de la bolsa del biodigestor

	Profundidad	1 m de profundidad				1,5 m de profundidad				2m de profundidad				
	°Talud	10°	20°	30°	45°	10°	20°	30°	45°	10°	20°	30°	45°	
	Factor (b)	0,35	0,73	1,15	2	0,53	1,1	1,73	3	0,71	1,45	2,3	4	
Fase 90% líquido: 10% gaseoso	Circunferencia bolsa	3	0,21	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	0,28	0,32	0,35	-	0,17	-	-	-	-	-	-	-
		5	0,33	0,36	0,38	-	0,24	0,29	-	-	0,15	-	-	-
		8	0,39	0,41	0,43	0,448	0,34	0,37	0,39	0,42	0,28	0,32	0,35	-
		10	0,42	0,43	0,44	0,47	0,37	0,39	0,41	0,44	0,33	0,36	0,38	0,42
		12	0,43	0,44	0,45	0,47	0,39	0,41	0,43	0,45	0,36	0,38	0,4	0,43
		15	0,44	0,45	0,46	0,48	0,42	0,43	0,44	0,46	0,39	0,41	0,42	0,44
		18	0,45	0,46	0,47	0,48	0,43	0,44	0,45	0,47	0,41	0,42	0,44	0,45
Fase 80% líquido: 20% gaseoso	Circunferencia bolsa	3	0,18	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	0,26	0,31	0,34	-	0,15	-	-	-	-	-	-	-
		5	0,32	0,35	0,38	0,41	0,21	0,27	-	-	-	-	-	-
		8	0,39	0,41	0,42	0,44	0,33	0,36	0,38	0,42	0,26	0,31	0,34	-
		10	0,41	0,43	0,44	0,46	0,36	0,39	0,41	0,43	0,32	0,35	0,38	0,41
		12	0,43	0,44	0,45	0,46	0,39	0,41	0,42	0,44	0,35	0,37	0,4	0,43
		15	0,44	0,45	0,46	0,47	0,41	0,43	0,44	0,46	0,38	0,4	0,42	0,44
		18	0,45	0,46	0,47	0,48	0,43	0,44	0,45	0,46	0,4	0,42	0,43	0,45