



**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**

**PROYECCIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO  
BIOLÓGICO DE EFLUENTES DERIVADOS DE UNA  
GRANJA PORCINA COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE  
PARA EL MEJORAMIENTO DEL PURÍN CON FINES  
AGRONÓMICOS EN LA COMUNA ZAPOTAL PROVINCIA  
DE SANTA ELENA.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

**Autor:** Erika Katherine Panchana Parra.

La Libertad, 2021



**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**

**PROYECCIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO  
BIOLÓGICO DE EFLUENTES DERIVADOS DE UNA  
GRANJA PORCINA COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE  
PARA EL MEJORAMIENTO DEL PURÍN CON FINES  
AGRONÓMICOS EN LA COMUNA ZAPOTAL PROVINCIA  
DE SANTA ELENA.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

**Autor:** Erika Katherine Panchana Parra.

**Tutor Académico:** Ing. Mercedes Santistevan Méndez, PhD.

La Libertad, 2021

## TRIBUNAL DE GRADO



---

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph. D  
**DIRECTORA DE CARRERA  
DE AGROPECUARIA  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



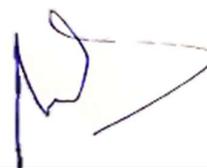
---

Ing. Miguel Lema Carrera, MSc.  
**PROFESORA ESPECIALISTA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Mercedes Santistevan Méndez, Ph. D  
**PROFESORA TUTORA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Andrés Drouet Candell, MSc.  
**PROFESOR GUÍA DE LA UIC  
SECRETARIO**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis agradecimientos a Dios, mi mayor fuente de fortaleza, aliento e inspiración; por encaminar cada una de mis experiencias durante toda esta travesía, en guiar mis pasos, con sabiduría, con discernimiento, con paciencia y con voluntad.

Manifiesto mis agradecimientos a la empresa *CEREALES DEL ECUADOR S.C.C.* y *PORCINOS DEL ECUADOR S.A.*, por darme la oportunidad de poder hacer posible el desarrollo de esta investigación, en especial reitero mis profundos agradecimientos al Ing. Esteban Cevallos, por ampliar y fortalecer mis conocimientos y; quién con paciencia, tiempo y apoyo supo orientarme durante todo este proceso.

Agradezco a cada uno de mis docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, por todo el aprendizaje impartido en las aulas, por ser guías capaces de incentivarnos a mejorar como personas, como profesionales, en orientarnos durante los proyectos o trabajos en equipo.

Mis sinceros agradecimientos a la Ing. Mercedes Santistevan y al Ing. Miguel Lema, por la orientación y el apoyo brindado durante este trabajo de investigación, sugerencias que permitieron sacar el mayor provecho posible para la culminación del presente trabajo.

Así mismo, mis profundos agradecimientos al Ing. Daniel Paillacho, por el apoyo y la orientación brindada a este trabajo, gracias a sus conocimientos en AutoCAD, permitió llevar a cabo la realización del diseño de la presente investigación.

Gracias a mis compañeros/as con quienes compartí durante este proceso universitario, en especial manifiesto mis más sinceros agradecimientos a Katherine Solano, Kenia Pidru, Angélica Zambrano, Isabel Cabrera y Lester Auria, con quienes aprendí a reconocer lo valioso que es trabajar en equipo y con quienes guardo experiencias que me permitieron fortalecer y crecer como persona durante todos estos años compartidos en la universidad.

Mis profundos agradecimientos a mi compañero y amigo Kenneth Orrala, por la ayuda, paciencia, comprensión y en especial por el tiempo brindado durante todo este proyecto, en orientarme hacia una gran oportunidad, aquella de continuar aprendiendo de los desafíos que se viven en el campo agrícola.

Mis sinceras gracias a mi compañera y amiga Odalys Castillo, por brindarme su apoyo, compañía y motivación para culminar con este trabajo, en no ver las dificultades sino en hacer todo lo posible para salir adelante juntas.

Culminar este estudio no solo ha sido mi esfuerzo sino también ha sido gracias a quienes me han brindado su apoyo, tiempo y compañía.

*Erika Katherine Panchana Parra*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo especialmente a Dios por orientar mi vida, por permitirme comprender, que sea la situación en la que me encuentre siempre hay una solución y una esperanza, grandes son las oportunidades que intercedieron para culminar con este proceso.

Todo el esfuerzo para poder culminar este trabajo se lo dedico también a quienes desde un inicio confiaron en mis capacidades, que a pesar de mis miedos, inseguridades y flaquezas me han motivado a continuar, me han brindado su apoyo, pero sobre todas las cosas han transmitido en mi vida el entusiasmo, la pasión y la alegría por querer superarme.

De manera muy especial, dedico este trabajo a mi padre Luis Alberto Panchana Catuto y mis tías Sara Marlene Panchana Catuto y Ofelia Rosario Domínguez Panchana, una dedicatoria hasta el cielo a quienes me enseñaron a ser persistente en el camino, motivando cada uno de mis pasos, sus añoranzas las recuerdo muy amablemente, inspirándome día a día a seguir firmemente en este camino. A mi madre Pilar Del Rocío Parra Tumbaco, por ser mi apoyo incondicional durante todo este tiempo, a mis hermanos Luis Panchana Parra, Evolet Panchana Parra y en especial a Angie Panchana Parra, por la confianza y el aliento que me han ayudado a continuar. A mis sobrinos Nathalia Borbor, Nohelia Borbor, Juan Borbor, Noemi Borbor y Carlos Borbor, mis niños quienes son el sentido que me motivan a seguir, quienes con sus ocurrencias siempre me inspiran y transmiten alegría a mi vida, son mis mayores fuentes de ánimo.

***Erika Katherine Panchana Parra***

## RESUMEN

Las explotaciones porcinas generan mayores excedentes de residuos orgánicos, conocidos como efluentes o purines, que tratados eficientemente pueden ser descargados a otros cuerpos receptores, reduciendo en mínimo los impactos ambientales. La reutilización estratégica y valoración sostenible del efluente para fines agrícolas son prácticas eficientes y sustentables empleadas para el manejo y aprovechamiento adecuado de estos residuos. La presente investigación se encuentra dividida en dos etapas; inicia con la evaluación de efluentes porcinos previamente tratados por aireación y microorganismos eficientes; en diferentes concentraciones (0.5%, 1%, 2%, 4%), aplicados en la variedad de maíz híbrido *Copa SV 3243* durante 36 días de crecimiento del cultivo, ensayo establecido bajo un diseño estadístico completamente aleatorio, alcanzando mejores resultados con las concentraciones del 2% y 4%; mostrando diferencias significativas entre tratamientos durante los últimos tiempos de crecimiento del cultivo, evaluando: porcentaje de germinación, altura de planta, diámetro de tallo, longitud de hoja, longitud de raíz, número de hojas y peso fresco de la planta. La segunda etapa fue diseñar un sistema de tratamiento biológico aerobio de efluentes porcinos provenientes de un sistema de producción intensivo, estudio que tuvo como objetivo la eficiencia de tecnologías (aireadores mecánicos y separador de sólido) que permiten reducir la carga de contaminantes de los parámetros fisicoquímicos en la demanda biológica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y en la demanda química de oxígeno (DQO), estableciendo soluciones eficientes en el menor tiempo posible y que sean económicamente viables para la empresa.

**Palabras claves:** demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno ( $DBO_5$ ), purines, tratamiento biológico aerobio.

## ABSTRACT

Pig farms generate larger surpluses of organic waste, known as effluents or slurry, which treated efficiently can be discharged to other receiving bodies, minimizing environmental impacts. The strategic reuse and sustainable valuation of the effluent for agricultural purposes are efficient and sustainable practices used for the management and proper use of these wastes. The present investigation is divided into two stages; it begins with the evaluation of previously treated porcine effluents by aeration and efficient microorganisms; in different concentrations (0.5%, 1%, 2%, 4%), applied in the hybrid maize variety Copa SV 3243 during 36 days of crop growth, test established under a completely random statistical design, achieving better results with concentrations of 2% and 4%; showing significant differences between treatments during the last growing times of the crop, evaluating: germination percentage, plant height, stem diameter, leaf length, root length, number of leaves and fresh weight of the plant. The second stage was to design a system of aerobic biological treatment of effluent of swine from a production system intensive, a study that had as its objective the efficiency of technologies (mechanical aerators and separator solid) that allow you to reduce the pollutant load of the physico-chemical parameters in the biological oxygen demand (BOD<sub>5</sub>) and chemical oxygen demand (COD), establishing efficient solutions in the shortest possible time and that are economically viable for the company.

**Key words:** chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), slurry, aerobic biological treatment.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Erika Panchana Parra".

---

Erika Panchana Parra

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Tratamiento de aguas residuales a nivel mundial.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Tratamiento de aguas residuales a nivel nacional.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Tratamiento de aguas residuales a nivel local.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Sistemas de producción porcinas.....</b>	<b>8</b>
1.4.1 Traspatio y extensivo.....	8
1.4.2 Semi - intensivo.....	8
1.4.3 Intensivo.....	8
<b>1.5 Impacto ambiental de los sistemas de producción .....</b>	<b>9</b>
1.5.1 Contaminación del agua .....	9
1.5.2 Contaminación del suelo .....	9
1.5.3 Contaminación del aire.....	10
<b>1.6 Residuos de las explotaciones porcinas .....</b>	<b>10</b>
1.6.1 Desechos sólidos y líquidos .....	10
<b>1.7 Efluente o purín porcinos.....</b>	<b>11</b>
1.7.1 Características de los efluentes porcinos .....	11
<b>1.8 Tipos de sistemas de tratamientos de efluentes .....</b>	<b>12</b>
1.8.1 Por el tipo de proceso .....	12
1.8.2 Por el grado de tratamiento .....	13
<b>1.9 Parámetros fisicoquímicos del efluente.....</b>	<b>13</b>
1.9.1 Potencial de hidrógeno (pH).....	13
1.9.2 Demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	13
1.9.3 Demanda química de oxígeno (DQO).....	14
<b>1.10 Valorización agronómica de purines.....</b>	<b>14</b>
1.10.1 Reutilización del efluente.....	14
1.10.2 Fertilización con purines .....	15
1.10.3 Utilización de aguas tratadas para riego.....	15
<b>1.11 Producción de maíz a nivel mundial .....</b>	<b>16</b>
<b>1.12 Producción de maíz en el Ecuador .....</b>	<b>16</b>

<b>1.13</b>	<b>Generalidades del cultivo de maíz.....</b>	<b>16</b>
1.13.1	Importancia del cultivo.....	16
1.13.2	Clasificación taxonómica .....	17
1.13.3	Descripción botánica de la planta.....	17
<b>1.14</b>	<b>Manejo agronómico del cultivo. ....</b>	<b>19</b>
1.14.1	Preparación del terreno.....	19
1.14.2	Siembra .....	19
1.14.3	Fertilización.....	19
1.14.4	Requerimientos nutricionales del cultivo de maíz.....	19
<b>1.15</b>	<b>Requerimientos de clima y suelo .....</b>	<b>21</b>
1.15.1	Temperatura .....	21
1.15.2	Riego .....	21
1.15.3	Luminosidad.....	22
1.15.4	Suelo.....	22
 <b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>Localización y descripción del lugar de estudio .....</b>	<b>23</b>
2.1.1	Condiciones edafoclimáticas del lugar experimental .....	23
<b>2.2</b>	<b>Materiales y equipos .....</b>	<b>24</b>
2.2.1	Materiales biológicos .....	24
2.2.2	Materiales de campo.....	26
2.2.3	Equipos.....	26
2.2.4	Programas.....	27
<b>2.3</b>	<b>Métodos .....</b>	<b>27</b>
2.3.1	Evaluación de purines aplicados en el cultivo de maíz (Fase A).....	27
2.3.2	Diseño de un sistema de tratamiento de efluentes porcinos (Fase B).....	35
 <b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Análisis de la fase A: Efecto de aplicación de diferentes concentraciones de purín porcino en la variedad de maíz híbrido Copa SV 3243. ....</b>	<b>37</b>
3.1.1	Porcentaje de germinación a los 5 y 10 días después de siembra (dds).....	37
3.1.2	Altura de planta a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra (dds).....	38
3.1.3	Diámetro de tallo a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra (dds) .....	39
3.1.4	Número de hojas a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra (dds) .....	40
3.1.5	Longitud de hoja a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra (dds) .....	42

3.1.6	Longitud radicular a los 4, 8, 12, 24 y 36 días después de siembra (dds) .....	43
3.1.7	Peso fresco 36 días después de siembra (dds) .....	45
<b>3.2</b>	<b>Diseño de un sistema de tratamiento de efluentes porcinos (Fase B) .....</b>	<b>50</b>
3.2.1	Descripción del sistema de tratamientos de efluentes residuales de granja.....	50
3.2.2	Levantamiento de información in situ en granja .....	51
3.2.3	Valores teóricos referenciales de las producciones diarias de purín.....	52
3.2.4	Categorización de animales de S <sub>1</sub> en referencia a valores teóricos de las producciones diarias de purín por fase productiva .....	53
3.2.5	Valores medios ponderados del volumen y composición del purín por categoría de cerdo (datos teóricos) .....	54
3.2.6	Estimaciones del flujo diario de purines producidos en S <sub>1</sub> .....	57
3.2.7	Estimaciones del peso de la solución teórica del purín (kg/animal/día).....	57
3.2.8	Porcentajes de participación de los componentes de la solución teórica del purín.....	58
3.2.9	Porcentajes de participación de los componentes del efluente .....	58
3.2.10	Tratamiento de efluentes a nivel experimental.....	59
3.2.11	Aporte diario de aire que necesita el efluente a tratar .....	60
3.2.12	Propuesta de tecnologías para el tratamiento de efluentes .....	61
3.2.13	Dimensiones del sistema de lagunas aireadas .....	62
3.2.14	Resultados de DBO <sub>5</sub> y DQO en relación al volumen de aire a inyectar en el efluente .....	63
3.2.15	Estimaciones de DBO <sub>5</sub> y DQO para el sistema de tratamiento de lagunas aireadas .....	65
3.2.16	Estimaciones de DBO <sub>5</sub> y DQO para el sistema de tratamiento de lagunas aireadas en conjunto con un separador de sólidos.....	69
3.2.17	Valoración agronómica de los efluentes porcinos aplicados .....	77
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>80</b>
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>80</b>
	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>81</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>82</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>90</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Propuestas para el tratamiento de aguas residuales de varios países. ....	5
<b>Tabla 2.</b> Taxonomía del maíz.....	17
<b>Tabla 3.</b> Elementos nutritivos para el maíz.....	20
<b>Tabla 4.</b> Temperaturas mínimas, óptimas y máximas en el desarrollo del maíz.....	21
<b>Tabla 5.</b> Análisis de suelo del lugar experimental.....	24
<b>Tabla 6.</b> Análisis inicial y final de los efluentes porcinos tratados. ....	24
<b>Tabla 7.</b> Información técnica del producto comercial microorganismos activos ATP. ....	25
<b>Tabla 8.</b> Características particulares de la variedad de semilla a utilizar.....	26
<b>Tabla 9.</b> Variable independiente del experimento.....	28
<b>Tabla 10.</b> Grados de libertad del experimento .....	29
<b>Tabla 11.</b> Concentraciones y aplicaciones del purín tratado. ....	33
<b>Tabla 12.</b> Medias comparativas entre los tratamientos en relación a la variable porcentaje de germinación (%G).....	37
<b>Tabla 13.</b> Medias comparativas entre los tratamientos en relación a la variable altura de planta (cm). ....	38
<b>Tabla 14.</b> Medias comparativas entre los tratamientos en relación a la variable diámetro de tallo (mm).....	40
<b>Tabla 15.</b> Medias comparativas entre los tratamientos en relación al número de hojas.....	41
<b>Tabla 16.</b> Medias comparativas entre los tratamientos en relación a la longitud de hoja. ....	43
<b>Tabla 17.</b> Medias comparativas de los tratamientos en relación a la longitud de la raíz (cm). ....	44
<b>Tabla 18.</b> Medias comparativas de los tratamientos en relación a la variable peso fresco de la planta a los 36 días después de siembra (g). ....	45
<b>Tabla 19.</b> Contenido de macronutrientes aplicados en el cultivo de maíz por tratamiento... ..	48
<b>Tabla 20.</b> Cantidad de animales registrados por etapa productiva en Sitio 1 (S <sub>1</sub> ).....	52
<b>Tabla 21.</b> Volumen y composición de purines por categoría de cerdo (litros/animal/día)....	52
<b>Tabla 22.</b> Cantidad establecida de animales que se manejan en Sitio 1 (S <sub>1</sub> ).....	53
<b>Tabla 23.</b> Componentes para la ponderación de datos en relación al volumen de purín por fase productiva (litros/animal/día). ....	54
<b>Tabla 24.</b> Valores correspondientes al flujo diario de purín por fase productiva (L/día).....	55
<b>Tabla 25.</b> Promedio ponderado en relación a la cantidad de estiércol (kg/animal/día).....	56
<b>Tabla 26.</b> Promedio ponderado en relación a la densidad del efluente (kg/L). ....	56
<b>Tabla 27.</b> Flujo diario de efluentes porcinos generados de Sitio (S <sub>1</sub> ). ....	57
<b>Tabla 28.</b> Resultados de las estimaciones de la solución teórica del purín (kg/animal/día)..	57

<b>Tabla 29.</b> Resultados obtenidos de la solución teórica del purín. ....	58
<b>Tabla 30.</b> Porcentajes de participación de los componentes del efluente a tratar. ....	59
<b>Tabla 31.</b> Volumen (m <sup>3</sup> ) del efluente a tratar sin la participación del estiércol. ....	59
<b>Tabla 32.</b> Datos obtenidos a nivel experimental. ....	60
<b>Tabla 33.</b> Necesidad de aire para el efluente a tratar (m <sup>3</sup> ). ....	60
<b>Tabla 34.</b> Necesidad de aire para un volumen (m <sup>3</sup> ) de efluente a tratar sin la participación del estiércol. ....	61
<b>Tabla 35.</b> Características del aireador. ....	61
<b>Tabla 36.</b> Características del separador de sólido. ....	62
<b>Tabla 37.</b> Dimensiones de lagunas aireadas para el tratamiento de efluentes porcinos. ....	62
<b>Tabla 38.</b> Dimensiones de lagunas aireadas en función con un separador de sólido para el tratamiento de efluentes porcinos. ....	63
<b>Tabla 39.</b> Puntos de DBO <sub>5</sub> y DQO a los 6, 12 y 21 días de tratamiento. ....	64
<b>Tabla 40.</b> Puntos de DBO <sub>5</sub> y DQO a los 6, 12 y 21 días de tratamiento. ....	64
<b>Tabla 41.</b> Alternativas para la eficiencia del proyecto empleando como tecnología aireadores. ....	67
<b>Tabla 42.</b> Alternativas para la eficiencia del proyecto empleando como tecnologías: aireadores y un separador de sólidos. ....	71
<b>Tabla 43.</b> Análisis de macronutrientes del efluente aplicado. ....	77
<b>Tabla 44.</b> Porcentaje de eficiencia de los fertilizantes de interés. ....	77
<b>Tabla 45.</b> Relación Costo/Fertilizante. ....	78
<b>Tabla 46.</b> Aporte de nutrientes en el efluente tratado. ....	78
<b>Tabla 47.</b> Costo total por macronutriente en el efluente (diario). ....	78
<b>Tabla 48.</b> Ganancias diarias y anuales. ....	79
<b>Tabla 49.</b> Resumen de los resultados obtenidos de la valoración agronómica del efluente. .	79
<b>Tabla 50.</b> Registro de animales en el área de maternidad. ....	102
<b>Tabla 51.</b> Registro de animales en el área de destete. ....	102
<b>Tabla 55.</b> Curvas de crecimiento de acuerdo a la edad y peso del animal. ....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del lugar experimental: Hacienda Cereales Del Ecuador S.C.C., Granja Ecuapork Zapotal S.A., comuna Zapotal, provincia de Santa Elena.....	23
<b>Figura 2.</b> Bosquejo de las unidades experimentales (primera repetición).....	30
<b>Figura 3.</b> Distribución en campo de tratamientos y repeticiones. ....	31
<b>Figura 4.</b> Diagrama comparativo de medias del porcentaje de germinación del híbrido var Copa SV 3243 evaluadas a los 5 y 10 días después de siembra, sometidas bajo el efecto de aplicación de diferentes concentraciones de purines.....	37
<b>Figura 5.</b> Curva de crecimiento de las medias de los tratamientos en relación a la variable altura de planta ante el efecto de aplicaciones a bajas concentraciones de purines porcinos en plantas de maíz híbrido var Copa SV 3243 evaluadas a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra. ....	39
<b>Figura 6.</b> Curva de crecimiento de las medias de los tratamientos en relación a la variable diámetro de tallo (mm) ante el efecto de aplicaciones a bajas concentraciones de purines porcinos en plantas de maíz híbrido var Copa SV 3243 evaluadas a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra. ....	40
<b>Figura 7.</b> Curva de crecimiento de las medias de los tratamientos en relación a la variable número de hojas ante el efecto de aplicaciones a bajas concentraciones de purines porcinos en plantas de maíz híbrido var Copa SV 3243 evaluadas a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra. ....	42
<b>Figura 8.</b> Curva de crecimiento de las medias de los tratamientos en relación a la variable número de hojas ante el efecto de aplicaciones a bajas concentraciones de purines porcinos en plantas de maíz híbrido var Copa SV 3243 evaluadas a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra. ....	43
<b>Figura 9.</b> Curva de crecimiento de las medias de los tratamientos en relación a la variable longitud de raíz (cm) ante el efecto de aplicaciones a bajas concentraciones de purines porcinos en plantas de maíz híbrido var Copa SV 3243 evaluadas a los 4, 8, 12, 24 y 36 días después de siembra. ....	44
<b>Figura 10.</b> Diagrama comparativo de medias del peso fresco (g) de las plantas de maíz híbrido var Copa SV 3243 evaluadas a los 36 días después de siembra, sometidas bajo el efecto de aplicación de diferentes concentraciones de purines previamente tratados. ....	45
<b>Figura 11.</b> Sitio de estudio para el levantamiento de información: Granja Ecuapork Zapotal, Santa Elena.....	50
<b>Figura 12.</b> Resultados de DBO <sub>5</sub> y DQO en función a un sistema de tratamiento de efluentes empleando como tecnología: aireadores mecánicos. ....	64

<b>Figura 13.</b> Resultados de DBO <sub>5</sub> y DQO en función a un sistema de tratamiento de efluentes empleando como tecnología aireadores y un separador de sólidos.....	65
<b>Figura 14.</b> Aireación vs decrecimiento de DBO <sub>5</sub> y DQO (Eficiencia del aireador). .....	65
<b>Figura 15.</b> Costo por reducción de punto de DBO <sub>5</sub> y DQO (Eficiencia del aireador) .....	66
<b>Figura 16.</b> Aireación vs decrecimiento DBO <sub>5</sub> y DQO (Eficiencia del aireador con el separador de sólidos) .....	69
<b>Figura 17.</b> Costo por reducción de punto de DBO <sub>5</sub> y DQO (Eficiencia del aireador junto con el separador de sólidos).....	70
<b>Figura 18.</b> Sistema de tratamiento de efluentes porcinos mediante un separador de sólidos. ....	73
<b>Figura 19.</b> Eficiencia de aireadores con un separador de sólidos.....	74
<b>Figura 20.</b> Sistema de tratamiento de efluentes porcinos mediante un separador de sólidos. ....	75
<b>Figura 21.</b> Sistema de tratamiento de efluentes porcinos mediante aireadores.....	76

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo 1.** Fotografías de las actividades realizadas en campo.

**Figura 1A.** Preparación del terreno previo a la siembra.

**Figura 2A.** Instalación del sistema de riego.

**Figura 3A.** Riegos alternados para alcanzar la humedad necesaria previo a la siembra.

**Figura 4A.** Evaluación del porcentaje de germinación a los 5 días después de siembra.

**Figura 5A.** Aplicación foliar del efluente porcino tratado en el cultivo de maíz.

**Figura 6A.** Toma de datos a los 6 días después de siembra.

**Figura 7A.** Toma de datos de raíz a los 4 días después de siembra.

**Figura 8A.** Toma de datos a los 15 días después de siembra.

**Figura 9A.** Última toma de datos a los 36 días después de siembra.

**Figura 10A.** Última toma de raíz a los 36 días después de siembra.

**Figura 11A.** Medición del área de la laguna de oxidación de Sitio 1 (S1).

**Figura 12A:** Recolección de muestra de efluente porcinos para análisis N-P-K.

**Figura 13A.** Limpieza y desinfección de materiales previo al envío de muestras al laboratorio.

**Figura 14A.** Envasado de botellas con el efluente tratado y rotulación de muestra para el análisis de N-P-K.

**Anexo 2.** Cronograma de actividades del ensayo experimental (Fase A).

**Anexo 3.** Análisis físico-químicos del efluente tratado mediante aireación (12 días) e inclusión del 6% de microorganismos activos.

**Anexo 4.** Análisis de macronutrientes N-P-K de la muestra testigo extraída de la laguna de oxidación de Sitio 1 (S1).

**Anexo 5.** Análisis de macronutrientes N-P-K de la muestra de 12 días y 6% de microorganismos activos.

**Anexo 6.** Levantamiento de información en granja (Sitio 1).

## INTRODUCCIÓN

Dentro de las explotaciones pecuarias, uno de los problemas con mayor importancia que surge por el incremento de los sistemas de producción ganadera, es la manera de como poder reutilizar las grandes cantidades de desechos residuales, tales como: estiércol, efluentes o purines (aguas residuales industriales); dando origen a la necesidad de encontrar medidas oportunas capaces de generar mejores subproductos que puedan ser descargados a otros cuerpos receptores, reduciendo en mínimo los impactos ambientales (Amy *et al.*, 2017); siendo de interés en los últimos tiempos, el manejo y uso adecuado de purines, reutilizados y aplicados en la agricultura, con el fin de recuperar y aprovechar al máximo la cantidad de nutrientes que estos contienen (Lobera Lössel, 2015).

Por lo tanto, Moraga & Rodrigo (2012) mencionan tres diferentes alternativas de gestión ambiental para el manejo de purines: reducción de residuos desde su origen, reutilización y reciclaje; tratamiento y disposición; otros sistemas para el tratamiento de residuos incluyen métodos físicos, químicos y biológicos; también se detallan sistemas de tratamientos convencionales primarios y secundarios; dentro de los tratamientos secundarios se encuentran los métodos biológicos, los mismos que se subdividen en procesos facultativos, anaerobios y aerobios (Beyli *et al.*, 2012).

Bermeo Garay (2016) indica que los efluentes industriales son tratados previo a su descarga mediante una combinación de operaciones y procesos unitarios; las operaciones unitarias corresponden a fenómenos físicos, mientras que en los procesos unitarios predominan métodos químicos y biológicos; que en conjunto dan lugar a tratamientos preliminares, primarios, secundarios, terciarios o avanzados, lo que concuerda con Amy *et al.*, (2017), que dan a conocer que el tratamiento de efluentes residuales puede lograrse mediante la combinación de diferentes procesos.

La demanda de sistemas de tratamientos biológicos de efluentes residuales aumenta continuamente, convirtiéndose en una de las principales alternativas ante las grandes plantas de tratamiento, estos sistemas tienen como objetivo degradar la materia disuelta, coloidal o sedimentable en flóculos biológicos; los mismos que incluyen materia orgánica biodegradable o no biodegradable y, macronutrientes como nitrógeno y fósforo (Amy *et al.*, 2017).

Por otra parte, los sistemas de depuración biológica actúan por medio de microorganismos capaces de absorber la materia orgánica disuelta, eliminando cualquier tipo de contaminante expuesta en el agua, sustrato o nutriente (Bermeo Garay, 2016); del mismo modo, las aguas residuales que son descargadas en lagunas, transitan por un sistema de aireación que en conjunto con la acción de microorganismos realizan un proceso de autodepuración natural, que puede ser: físico, químico y biológico (Moret Chiappe, 2014).

Actualmente dentro de la ganadería intensiva, la crianza de cerdos es uno de los sistemas de producción más desarrollados a nivel mundial, denotando una creciente demanda en la producción, es así como, ante la alta densidad de animales por explotación, se generan grandes cantidades de excedentes residuales, como estiércol o purines, que a través de un adecuado aprovechamiento, son empleados como fertilizantes o enmiendas orgánicas para los cultivos, lo que ha permitido un ahorro en fertilizantes minerales (Iguácel Soteras *et al.*, 2010).

El purín generado en granjas porcinas contiene altos contenidos de nutrientes, que pueden ser utilizados como fertilizante (Irañeta *et al.*, 2002), la riqueza de su composición puede garantizar una adecuada nutrición en los cultivos y mantener buenos niveles de fertilidad en el suelo (Pomares García, 2002). Sin embargo, para una equilibrada fertilización es necesario tener en cuenta la extracción de nutrientes del cultivo, la disponibilidad de nutrientes en el suelo y el aporte de otras fuentes como el agua de riego, enmiendas, abonos o rastrojos (FAO, 2004).

Deras & Serrano (2018) indican que el cultivo de maíz requiere de altas cantidades de nutrientes debido a que la fertilización va en función de los requerimientos de la planta y el suelo, es así como, el balance de la fertilización cumple un papel esencial para mejorar el cultivo, conservar la productividad del suelo y reducir los problemas ambientales que ocasiona el mal uso de fertilizantes minerales.

La presente investigación tiene como finalidad gestionar de manera eficiente los efluentes generados de una granja porcina tecnificada mediante el estudio y diseño de un sistema de aireación enfatizando los procesos de depuración biológica vía aerobia, valorizando la reducción de puntos de DBO<sub>5</sub> (Demanda biológica de oxígeno) y DQO (Demanda química de oxígeno) del agua residual de una laguna de oxidación y,

considerando de la misma manera, diferentes aspectos que engloban el lugar de estudio; por consiguiente, los purines tratados serán utilizados y evaluados en una variedad de maíz híbrido (*Copa SV 3243*) durante los primeros 36 días de crecimiento del cultivo, es decir, desde las primeras fases vegetativas: estado de emergencia ( $V_E$ ) hasta la presencia de 11 hojas ( $V_{11}$ ).

**Problema Científico:**

¿Influye la aplicación de efluentes porcinos tratados mediante un sistema de tratamiento biológico en las primeras fases fenológicas del cultivo de maíz híbrido?

**Objetivo General:**

Evaluar las características fenotípicas durante las etapas de crecimiento del cultivo de maíz híbrido mediante la aplicación de concentraciones diluidas de efluentes tratados y modelación de un sistema de tratamiento biológico para el mejoramiento del purín.

**Objetivos Específicos:**

1. Diseñar un sistema de aireación para el tratamiento biológico de efluentes generados de una granja porcina.
2. Determinar las alternativas más eficiente y económicamente viables en la reducción de puntos de DBO<sub>5</sub> (Demanda biológica de oxígeno) y DQO (Demanda química de oxígeno).
3. Determinar el efecto de aplicación de las concentraciones diluidas de efluentes porcinos durante las etapas de crecimiento del cultivo de maíz híbrido.
4. Establecer la valoración agronómica del efluente porcino como fertilizante.

**Hipótesis:**

Un sistema de aireación entorno a los procesos de depuración biológica permite gestionar de manera eficiente los efluentes generados de una granja porcícola; obteniendo subproductos de uso agronómico, por ende, la aplicación de purines previamente tratados favorece el desarrollo de las primeras fases vegetativas del cultivo de maíz híbrido.

# CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 Tratamiento de aguas residuales a nivel mundial

UNESCO (2019) 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.

A nivel mundial, las aguas residuales son vertidas al medio ambiente sin previo tratamiento, lo que corresponde al 80% y 95%. De tal manera que, causan efectos negativos en la sociedad y el medio ambiente, en promedio, en los países con ingresos altos el 78% de aguas residuales son tratadas previo a su uso. Sin embargo, en los países donde los ingresos son bajos, solo el 8% recibe algún tratamiento, esto es debido a que no cuentan con los recursos económicos necesarios (UNESCO, 2017).

Según FAO (2008) considera que las extracciones de agua dulce en todo el planeta son de 3928 km<sup>3</sup> al año y se concluye que son destinados para la agricultura. De esta manera, UNESCO (2017) manifiesta que el agua residual es una alternativa viable y rentable; la reutilización y recuperación de este recurso valioso radica en el tratamiento y eliminación de componentes tóxicos que contiene.

Diversos países se encuentran realizando técnicas y estrategias que permitan mejorar la calidad del agua, aumentando la eficiencia de procesos y reduciendo costos para su gestión, tal como se refleja en la (Tabla 1)(Ceja De La Cruz & Rentería Rodríguez, 2019):

**Tabla 1.** Propuestas para el tratamiento de aguas residuales de varios países.

País	Organismo	Proceso	Beneficio
China	XVIII Congreso Nacional de China y GHD.	Sistema de gestión de recursos hídricos altamente eficiente para controlar inundaciones y reutilizar aguas de lluvia.	La captación de agua de lluvia ha reducido la degradación del medio ambiente, mejora el aspecto de la zona urbana y los espacios para la recreación.

**Fuente:** Ceja De La Cruz & Rentería Rodríguez (2019).

(Tabla 1. Continuación)

País	Organismo	Proceso	Beneficio
Australia	Melbourne y CleanTeQ.	Introducción de procesos de separación avanzada y tecnología de filtración iónica continua para limpiar el aire y el agua basados en bacterias.	Extracción de metales pesados y eliminación de contaminantes peligrosos para la irrigación de cultivos y ganadería.
EUA	Gobierno de South Bend, Indiana y la empresa Optimatics.	Desarrollo de modelos de cómputo y software de planificación para la gestión de aguas residuales.	El plan redujo costos en un 27%, generó ahorros de \$ 112 millones de USD respecto a planes anteriores y disminuyó los desbordamientos de aguas en más del 30%.
España	La Agencia Catalana del Agua (ACA) en conjunto con la Compañía General de Aguas de Cataluña S. A.	Implementación de un sistema de análisis de consumo de energía en la planta y un sistema de gestión a distancia, que alargue la vida útil de las principales unidades electromecánicas en la planta	Un ahorro de 8.6% anual (28 mil Euros), que amortice la inversión de las mejoras en menos de 12 meses
Francia	Le Havre en conjunto con la empresa Suez Environnement Degremont.	Construcción de una mega planta para tener la capacidad de recibir las aguas residuales de 20 ciudades. Incorpora tres tipos diferentes de tecnologías de la empresa.	Reducción de la huella ecológica, disminuyó los costos, el uso de químicos y eliminó olores desagradables.
Hungría	La planta de tratamiento de Csepel (Budapest) en colaboración con la compañía Suez Environnement Degremont.	Implementación de un conjunto de tecnologías en el tratamiento de aguas y lodos llamado SEDIPAC.	Implementación de una planta con capacidad de 900 000 m <sup>3</sup> , que reduce la huella ecológica por los desechos y elimina por completo los olores y ruidos producidos por el tratamiento.

## **1.2 Tratamiento de aguas residuales a nivel nacional**

En las provincias de Manabí, Guayas y El Oro se encuentran las vertientes hídricas más contaminadas, producto de las descargas de aguas residuales derivadas de los hogares y las industrias, es importante manifestar que en la provincia de El Oro, las aguas residuales son derivadas de plantaciones bananeras y de sistemas dedicados a la producción de camarones, en cambio, las aguas de las cuencas hídricas de la Amazonía son menos contaminadas debido a que esta región se encuentra conformada por una densidad poblacional muy baja (Merchán Peñafiel, 2018).

López (2011) manifiesta que los ríos Daule y Babahoyo; son las vertientes hidrográficas más contaminadas del Golfo de Guayaquil; continuando con las vertientes Amazónicas, se encuentran: las cuencas de los ríos Napo, Pastaza y Zamora; por otro lado, en la región interandina: la contaminación de las aguas se genera de las ciudades de Quito, Cuenca, Ambato, Loja e Ibarra; siendo los ríos más contaminados el río Machángara y el río Cutuchi; cuya problemática ambiental es a causa del incremento de deyecciones líquidas y sólidas procedentes del aumento poblacional y la industria.

A nivel nacional, Cuenca cuenta con una de las más grandes plantas de tratamiento de aguas residuales *PTAR UCUBAMBA*, en donde el 95% de estas aguas provienen de la ciudad, según Merchán Peñafiel (2018), actualmente, en esta ciudad se han construido 32 plantas de tratamiento, por otro lado, en la ciudad de Guayaquil se ha implementado para el tratamiento de aguas residuales la tecnología de pantano seco artificial con el uso de bacterias y especímenes vegetales.

Portero Pesantes & Amat Marchán (2017) describen que el sistema de tratamiento de aguas residuales que maneja *EMSABA*, se encuentra localizada en la ciudad de Babahoyo, consiste en el uso de reactores, lagunas facultativas y de maduración; aguas que son tratados por métodos biológicos, anaeróbicos y aerobios, cuyo fin es contrarrestar los malos olores.

## **1.3 Tratamiento de aguas residuales a nivel local**

Orrala Soriano (2017) justifica que debido al desconocimiento acerca del tratamiento de aguas residuales en la provincia de Santa Elena, existe poca información acerca de

la implementación de sistemas de tratamientos convencionales, físico-químicos y biológicos. Además, otra de las causas radica en el capital necesario para la adquisición de tecnologías y la falta de un estudio técnico acerca de esta problemática.

#### **1.4 Sistemas de producción porcinas**

Según (Gordillo Q., 2016) menciona que los sistemas de explotación porcina se clasifican de la siguiente manera:

##### ***1.4.1 Traspatio y extensivo***

Se caracterizan por ser sistemas de explotación convencionales, donde no existe un manejo adecuado tanto de las condiciones sanitarias, asistencia técnica para los animales y no hay inversiones de capital, esta extensión se basa con un apoyo más familiar del cual los animales son alimentados con desperdicios de residuos caseros, por lo tanto, dichas producciones se encuentran dentro de un promedio de dos a seis cerdos, destacando que la comercialización o consumo se lo realiza por temporadas (Del Castillo Pérez *et al.*, 2012).

##### ***1.4.2 Semi - intensivo***

Este sistema de explotación cuenta con un manejo poco admisible para el animal, donde existe una pequeña inversión para la reproducción de animales de razas, las condiciones sanitarias y una infraestructura, los mismos pueden ser de cemento y madera, además, en la producción de cerdo la alimentación de los mismos es variado, que va de los desperdicios caseros, balanceados y maíz. Este sistema conlleva de ingresos asegurados donde represente rentabilidad (Del Castillo Pérez *et al.*, 2012).

##### ***1.4.3 Intensivo***

Las producciones de un sistema intensivo son completamente confinados, estos requieren de inversiones de capitales altos, la reproducción y mejoramiento de raza, la innovación de tecnologías, donde el cerdo tiene mejores condiciones sanitarias que llevan un programa de vacunación con el fin de evitar enfermedades, realizan buenas prácticas pecuarias donde el animal permanece atendido en todo su ciclo reproductivo y la alimentación de dichos animales es balanceada (Del Castillo Pérez *et al.*, 2012).

## **1.5 Impacto ambiental de los sistemas de producción**

Toainga Toainga (2016) cita que el impacto ambiental se produce por las alteraciones, transformación que generen un cambio en el ambiente, esto se debe a los diferentes procesos que se lleven a cabo en el procesamiento industrial, donde los residuos generados por dichos procesos tienden a producir efectos negativos en los recursos ambientales tales como: agua, aire, suelo, fauna, siendo los principales responsables del cambio climático.

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.

El mismo autor menciona la contaminación de los recursos ambientales, de tal manera que se describe lo siguiente:

### ***1.5.1 Contaminación del agua***

La concentración de efluentes que son descargados en exceso en el suelo pueden llevar a la acumulación de sustancias tóxicas generando un mayor riesgo de contaminación de las aguas subterráneas o superficiales, por ende, el efluente posee un gran contenido de nitrato que puede ser aprovechado o no por el cultivo, cuando el contenido de nitrato no es aprovechado, los mismos se lixivian a través de los perfiles del suelo, de tal manera que el exceso de los nitratos ocasionen una posible contaminación de las aguas subterráneas convirtiéndose en problemas de acidificación y eutrofización (Martínez González, 2019).

### ***1.5.2 Contaminación del suelo***

La aplicación de los efluentes generados de granjas porcinas es común para aguas de riego en el sector agrícola, sin embargo, es necesario tener en cuenta que la aplicación excesiva de los mismos conlleva a la generación de malos olores, la propagación de

plagas que pueden tener efectos peligrosos en la calidad de los suelos por el gran contenido de metales pesados y el grado de acidez (Martínez González, 2019).

### ***1.5.3 Contaminación del aire***

La producción de gases que son provenientes de la crianza de cerdos del cual son generados por los procesos naturales del metabolismo del animal y a su vez la degradación de los efluentes porcinos, por ende, la emisión de los gases depende de factores como el manejo que se lleven a cabo en las instalaciones y la gestión que se efectuó mediante los diferentes procesos industriales (Martínez González, 2019).

## **1.6 Residuos de las explotaciones porcinas**

### ***1.6.1 Desechos sólidos y líquidos***

Del Castillo Pérez *et al.*, (2012) destacan que la cantidad de desechos que se producen en las granjas porcinas va a depender de la cantidad de animales que existan, por lo tanto, los desechos sólidos y líquidos se encuentran en:

#### **a) Alimento**

El punto principal de desperdicio se debe al alimento que no fue consumido y se obstruye a las paredes de los comederos de tal manera que deben ser retirados manualmente y a su vez también llega a caerse a las fosas de deyecciones que se encuentran en los pasillos y corrales de los galpones provocando que se combinen con el agua residual, excretas y orine (Del Castillo Pérez *et al.*, 2012).

#### **b) Estiércol**

Es común que el estiércol se fusione con los restos de alimentos, orine y el agua que es utilizado para el lavado de galpones y agua de bebedero para los animales, por lo que se destaca que el 80% suele ser separado directamente del galpón y el 20% se retira dependiendo de las etapas productivas tales como se encuentran en las cerdas en lactancia donde se retiran placentas, estiércol y resto de alimento desperdiciado (Del Castillo Pérez *et al.*, 2012).

### **1.6.1.1 Desechos líquidos**

Estos desechos líquidos provenientes de una granja porcina se constituyen por una serie de procesos que se realizan en dicho lugar, destacando: agua de bebederos, limpieza de galpones, orine mezclado con excremento, por lo tanto, los purines se considera una mezcla de diferentes materiales con un contenido de humedad superior al 80% (Del Castillo Pérez *et al.*, 2012).

## **1.7 Efluente o purín porcinos**

Los efluentes porcinos derivados de granjas intensivas son generalmente conocidos como purines, el cual se encuentra constituido por gran parte de agua, con un porcentaje promedio del cuatro al siete por ciento de materia sólida en suspensión y que se encuentra dentro de la solución, por lo tanto, el purín en las explotaciones ganaderas no es más que la mezcla de deyecciones líquidas y sólidas junto con residuos de alimentos, agua de lavado, entre otras (Cuevas, 2015).

Por lo tanto, se define como purín a la mezcla producida por excretas sólidas y sobre todo líquidas provenientes del animal, se considera como un producto de la naturaleza orgánica, muy heterogéneo el cual puede utilizarse como fertilizante o enmienda del suelo (Gómez Garrido, 2014).

### **1.7.1 Características de los efluentes porcinos**

Cuevas (2015) menciona que el efluente porcino es un subproducto derivado de las diversas actividades ganaderas, poseen altas características nocivas para el medio ambiente, por lo tanto, deben ser tratadas con el fin de evitar un impacto ambiental y entre esas características se encuentran:

- Microorganismos patógenos (*E. coli*, *Klebsiella*, *Proteus* y *Enterobacter*).
- Neutro/básico y de elevada alcalinidad.
- Elevado contenido de humedad.
- Presentan mayor cantidad de macro y micro nutrientes.

### **1.7.1.1 Composición.**

Gómez Garrido (2014) indica que la composición de purín de cerdo puede ser muy heterogénea de unas granjas a otras, por lo tanto, se ve afectada por los siguientes factores:

- **Tipo de animales:** entre ellas están la raza, edad, estados fisiológico, etc.
- **Tipo de granja:** intervienen el cebo, pre-cebo, ciclo cerrado, producción de lechones, cerdas reproductoras y verracos.
- **Manejo de explotación:** tipos de piensos, infiltraciones.
- **Gestión del agua de bebida:** tipo y caudal de los bebederos, presencia o ausencia de fugas.
- **Otros factores:** instalaciones, almacenamiento y tiempo en la fosa.

## **1.8 Tipos de sistemas de tratamientos de efluentes**

Castiblanco Poveda & Díaz Villalba (2017) menciona que los diferentes sistemas de tratamientos de efluentes se encuentran distribuidos por los siguientes puntos:

### **1.8.1 Por el tipo de proceso**

#### **a) Procesos físicos**

Permite la remoción de materia en suspensión, por medio de elementos como: rejillas, trituradores, sedimentador primario que ayuden a la filtración.

#### **b) Procesos químicos**

Concentración de productos químicos para la reducción o eliminación de contaminantes presentes en el efluente.

#### **c) Procesos biológicos**

Se realizan con la intervención de la actividad biológica de los microorganismos para la degradación de materia orgánica y la eliminación de producción de gases.

### ***1.8.2 Por el grado de tratamiento***

#### **a) Tratamientos preliminares**

En este tratamiento participan diferentes métodos físicos como: cribado, tamices estáticos, trituradores de canal, desarenadores, la finalidad de cada uno de estos métodos es la retención o trituración de sólidos gruesos que estén suspendidas en el agua evitando la obstrucción de partículas de gran tamaño y a su vez evitar la eliminación de residuos manualmente.

#### **b) Tratamientos primarios**

Reduce los sólidos en suspensión en el agua residual mediante sedimentación, flotación, coagulación permitiendo una separación o dilución de partículas sólidas o líquidas en el medio a tratar.

#### **c) Tratamientos secundarios**

Consiste en la remoción del DBO<sub>5</sub> (Demanda biológica de oxígeno) y DQO (Demanda química de oxígeno) que no son reducidos en los procesos que se describen anteriormente, se dice que la remoción de estos parámetros es baja por lo que las reacciones son mediante los procesos biológicos.

## **1.9 Parámetros fisicoquímicos del efluente**

### ***1.9.1 Potencial de hidrógeno (pH)***

Las evaluaciones del potencial de hidrogeno se realiza para caracterizar el agua y dar seguimiento a los niveles de ácido, básico y alcalino, la medición de este parámetro es una de las más importantes para los análisis químicos del agua, dentro de los efluentes porcinos el pH se encuentra entra 6.5 y 8.5 (Alvario Castro & Gordillo Vanegas, 2015).

### ***1.9.2 Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)***

Se considera como la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica y para cumplir sus funciones vitales, este parámetro permite medir la cantidad de materia consumida y oxidada por métodos biológicos. Además, el DBO<sub>5</sub> se requiere para la descomposición de la materia biodegradable por

los microorganismos a partir de 5 días transcurridos a 20 °C, se expresa en mg/litros de oxígeno (Alvario Castro & Gordillo Vanegas, 2015) .

### ***1.9.3 Demanda química de oxígeno (DQO)***

Es la cantidad de oxígeno que es consumido oxidando la materia orgánica e inorgánica oxidable presente, para ello se utiliza agentes oxidantes como: el permanganato de potasio; este parámetro es usado para medir la cantidad de contaminantes orgánicos en el efluente porcino y se expresa en mg/L (Alvario Castro & Gordillo Vanegas, 2015).

### **1.10 Valorización agronómica de purines**

Gómez Garrido (2014) cita que la valorización agronómica de purines es una práctica que posibilita la existencia de un equilibrio entre el entorno natural y una mejora en la rentabilidad agraria, este reciclaje de nutrientes como abono orgánico e inorgánico es una valorización sostenible que aleja al purín de ser considerado como un residuo y lo aproxima a ser considerado como un recurso agrícola, por lo tanto, un adecuado uso del mismo implica varias ventajas como son:

- Mínimo impacto medioambiental.
- Ahorro y reducción en el uso de abonos minerales.
- Ahorro energético en la fabricación de fertilizantes.
- Mejorar la fertilidad de los suelos.

Maisonnave & Lamelas (2013) indican que el uso agronómico tanto de excretas y de efluentes porcinos, permiten devolver al suelo una gran cantidad de macronutrientes considerando que es un excelente fertilizante biológico que permite nutrir a los cultivos y se puede representar de forma líquida y sólida dando una alternativa viable como la forma de reponer de manera segura nutrientes al campo agrícola, cabe recalcar que los animales reciben los nutrientes mediante la ración alimenticia pero que a su vez lo absorben en porcentajes bajos, entre ellos se destaca el nitrógeno y fósforo debido a que es absorbido en un 30% del valor total que reciben los animales en las dietas.

#### ***1.10.1 Reutilización del efluente***

Las excretas porcinas es un material con diversas utilidades como: fertilizantes orgánicos, mejorador de suelos, alimento para rumiantes, materia prima para energía

y la elaboración de compost y sustrato de lombricultura, por lo tanto, para llegar a reutilizar el efluente es necesario que pase por tratamientos primarios y secundarios, destacando las lagunas de aireación, es recomendado para los bioprocesos del efluente logrando reducir las cargas de contaminantes para que llegue a ser utilizados como agua para riego (Vicari, 2012).

### ***1.10.2 Fertilización con purines***

Gómez Garrido (2014) menciona que la aplicación de purines en suelos agrícolas como fertilizante implica los siguientes:

#### **a) Fertilización química**

Aumenta la disponible de nutrientes e incrementa la capacidad de retención de cationes.

#### **b) Fertilidad biológica**

Cierra los ciclos de nutrientes y lo flujos de energía diversificada, aumenta el contenido de microorganismos y de materia orgánica, por ende, el aumento ayuda a su vez a la fertilidad química y física del suelo.

#### **c) Fertilidad física**

Favorece en el desarrollo radicular, por lo tanto, al favorecer el desarrollo de raíces, permeabilidad, retención de agua, a su vez facilita la circulación de aire y agua, además mejora la estructura del suelo.

### ***1.10.3 Utilización de aguas tratadas para riego***

Vicari (2012) menciona que el riego es parte fundamental que permite brindar el aporte de agua al suelo con la finalidad de proporcionar una humedad necesaria para el crecimiento de los cultivos. Los tratamientos primarios en lagunas son efectivas para la reducción de microorganismos patógenos y nitrógeno, sin embargo, la reducción del nitrógeno es la limitante por las necesidades de los cultivos, una vez dado los tratamientos adecuados del efluente es necesario tener como base los análisis principales de los parámetros físico químicos y microbiológicos para evitar errores en

su uso y que conlleven a una aplicación adecuada, por lo tanto, es necesario saber que la aplicación de los mismos a los cultivos no sea de consumo crudos a la población.

### **1.11 Producción de maíz a nivel mundial**

A nivel mundial, países como Estados Unidos y la Unión Europea mantienen una producción de maíz dulce a gran escala obteniendo 20.62 toneladas en el año 2000 a 45.04 toneladas en el 2014; destinada especialmente al consumo interno y a la exportación de productos agregados, por lo tanto, la producción del maíz resulta un importante rubro en los ingresos económicos, ya que es muy significativa en la dieta de los consumidores (Chanataxi & Pumisacho, 2016).

### **1.12 Producción de maíz en el Ecuador**

En el Ecuador el maíz se cultiva sobre 520 000 ha entre todas sus provincias, destacando que en la Costa la gran parte de la producción está sembrada con maíz duro, en la Sierra cultivan maíz duro y suave, cabe recalcar que la producción de maíz es importante dentro de la canasta básica familiar. Es necesario mencionar que, el maíz es el cereal más productivo del Ecuador y su rentabilidad mejora cuando son cultivos mejorados (Zambrano & Quijije , 2019).

### **1.13 Generalidades del cultivo de maíz**

#### ***1.13.1 Importancia del cultivo***

Es importante destacar que el maíz ocupa el tercer lugar de los cereales más cultivados a nivel mundial, continuando del trigo y el arroz, el mismo que se encuentra difundido en diferentes países que cualquier otro cultivo, esto se debe a que se ha producido el más alto rendimiento en la superficie que cualquier otro cereal.

El maíz es una planta de fácil mecanización durante todas las fases del cultivo y de aprovechamiento múltiple, el cual se destacan las principales características que son (Silvestre & Stich, 2021):

- Se cultiva en climas muy diversos.
- Es una planta muy útil para la alimentación humana debido a su excelente composición química, entre ellas: almidón y azúcares de 60% a 70%, sustancias nitrogenadas 10%, materias grasas del 4% a 8%.

- Varias utilidades en la alimentación y agroindustria.

### 1.13.2 Clasificación taxonómica

Badillo & Arévalo (2016) menciona, las siguientes características taxonómicas del cultivo (Tabla 2):

**Tabla 2.** Taxonomía del maíz.

<b>Reino</b>	<b>Vegetal</b>
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>mays</i>
Nombre científico	<i>Zea mays L</i>
Nombre común	Choclo, Maíz

### 1.13.3 Descripción botánica de la planta

Oñate & Gutiérrez (2016) describe el cultivo de maíz desde el punto de vista botánico de la siguiente manera:

#### a) Planta

La planta de maíz pertenece a la familia gramínea, es de régimen anual, herbácea, su tamaño frecuente es de los 60 cm hasta 2.4 m de altura, esto va a depender de la zona donde este cultivada, es una planta de tallo erguido, macizo, ahueco y su clasificación es monoica debido a la posición de las flores.

#### b) Raíz

La raíz de la planta de maíz es fasciculada con un gran desarrollo del mismo, esta posee tres tipos de raíces las cuales se describen a continuación:

- **Seminales:** nacen en la semilla después de la radícula para afirmar la planta, cabe recalcar que estas no son permanentes.

- **Permanentes:** estas nacen por encima de las primeras raicillas en una zona llamada corona, corresponden a las raíces principales y secundarias.
- **Adventicias:** nacen de los nudos inferiores del tallo y actúan como anclaje en las últimas etapas del crecimiento del cultivo, el cual van absorbiendo a la vez agua y sustancias nutritivas.

### c) Tallo

Se encuentra formado por una sucesión de nudo y entrenudo, los primeros son zonas abultadas de los cuales permiten la elongación de los mismos y se diferencian de las hojas, por lo tanto, cada nudo es un punto de interacción de una hoja y el tallo; pueden crecer hasta 4 m.

### d) Hojas

Son de gran tamaño, lanceoladas y alternas, las mismas se encuentran abrazadas al tallo y por el haz de la hoja presentan vellosidades, los extremos de las hojas son afilados y cortantes, son de color verde y el número de hojas varía entre ocho a veinticinco.

### e) Flores

En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una película llamada espigón, es de una coloración amarilla, posee una gran cantidad de polen, cada florecilla estará compuesta de la panícula en el cual se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen, las flores femeninas surgen en las axilas de algunas hojas y se hallan agrupadas en una espiga rodeada de largas brácteas.

### f) Fruto

La mazorca o fruto, se encuentra formado por una parte central llamado zuro, donde se adhiere los granos de maíz, se destaca que el 46% del peso total de la mazorca corresponde al peso de las brácteas y el 54% sobrante pertenece al raquis y un 29% a los granos que es materia comestible.

## **1.14 Manejo agronómico del cultivo.**

### ***1.14.1 Preparación del terreno***

Izquierdo Bonilla (2012) menciona que en la preparación del suelo es recomendable dejar un intervalo de tiempo mínimo de 1.5 a 2 meses entre la primera labor y la siembra, con el fin de que se descomponga toda la materia orgánica que el suelo haya obtenido.

### ***1.14.2 Siembra***

Izquierdo Bonilla (2012) señala que para la siembra es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- La cantidad de semillas es de 30 a 35 kg de semilla/ha.
- Realizar surcos a 80 cm, se puede aplicar dos semillas cada 50 cm o una semilla cada 25 cm.
- Utilizar semillas certificadas.
- La profundidad de los huecos no debe ser mayor a los 5 cm para que exista una buena germinación y permitiendo que todas las plantas broten al mismo tiempo.

### ***1.14.3 Fertilización***

Para el desarrollo de maíz se necesita de una cierta cantidad de elementos minerales, para esto es indispensable llevar a cabo un respectivo análisis de suelo unos dos meses previo a la siembra con la finalidad de tener una adecuada fertilización (Izquierdo Bonilla, 2012).

Se recomienda un abonado al suelo rico en nutrientes como fósforo (P) y potasio (K), además un aporte de nitrógeno (N) en mayor cantidad más que todo en la época del crecimiento vegetal del cultivo.

### ***1.14.4 Requerimientos nutricionales del cultivo de maíz***

Deras & Serrano (2018) citan que el maíz es una planta con una gran capacidad de crecimiento rápido y, por ende, una alta producción requiere grandes cantidades necesarias de nutrientes (Tabla 4).

**Tabla 3.** Elementos nutritivos para el maíz.

<b>Elementos</b>	<b>kg/ha</b>
Nitrógeno	140
Fósforo	80
Potasio	140
Calcio	55
Magnesio	55
Azufre	31
Cobre	0.14
Zinc	0.6
Boro	0.12
Hierro	4
Manganeso	2.12
Molibdeno	0.1

#### **1.14.4.1 Macronutrientes**

##### **a) Nitrógeno (N)**

Deras & Serrano (2018) indican que la demanda de nitrógeno (N) va incrementando conforme la planta se va desarrollando, por tal motivo, cuando se aproxima el momento de la floración, la absorción de este elemento asciende rápidamente, de tal forma que, al aparecer las flores femeninas la planta ha absorbido más de la mitad del total extraído durante todo el ciclo. Además, Chanataxi & Pumisacho (2016) mencionan que un déficit de nitrógeno (N) pueden llegar a afectar a la calidad y el rendimiento del cultivo, el cual se podrá evidenciar en los órganos fotosintéticos, las hojas del cultivos se tornarán de coloración amarillentas sobre los ápices y se extenderán a lo largo de todo el nervio y las mazorcas aparecen sin granos en las puntas.

##### **b) Fosforo (P)**

Deras & Serrano (2018) citan que la cantidad de fosforo en la planta de maíz es baja en comparación del nitrógeno y el potasio, pero de igual manera se considera un elemento importante para la nutrición del maíz y el desarrollo radicular. Además,

Chanataxi & Pumisacho (2016) menciona que si hay déficit de P pueden afectar a la fecundación y el grano no se desarrolle bien.

### c) **Potasio (K)**

Deras & Serrano (2018) manifiesta que el maíz necesita grandes aportes de potasio, donde el cultivo lo absorbe en los primeros 30 días de la planta, Chanataxi & Pumisacho (2016) menciona que el déficit de potasio hace que la planta sea muy susceptible a los ataques de hongos y en las mazorcas no lleguen a granar en las puntas

## **1.15 Requerimientos de clima y suelo**

### **1.15.1 Temperatura**

Chanataxi & Pumisacho (2016) citan que las temperaturas adecuadas para el desarrollo del cultivo son los siguientes (Tabla 5):

**Tabla 4.** Temperaturas mínimas, óptimas y máximas en el desarrollo del maíz.

<b>Etapa</b>	<b>Mínima</b>	<b>Óptima</b>	<b>Máxima</b>
Germinación	10 °C	20 – 25 °C	40 °C
Crecimiento Vegetativo	15 °C	20 – 30 °C	40 °C
Floración	20 °C	21 – 30 °C	30 °C

### **1.15.2 Riego**

Tamayo & Valdivieso (2014) aclaran que, de la siembra a la madurez, el cultivo requiere de 500 a 800 mm, esto va a depender de la variedad y del clima. Además, las necesidades hídricas van a ir variando a lo largo de todo el desarrollo del cultivo, destacando que las plantas cuando empiezan a brotar se requiere menos cantidad de agua, pero es necesario mantener una humedad constante, cuando el cultivo llegue a la fase de crecimiento vegetal es cuando más cantidad de agua necesita y se recomienda brindar tiempos de riego de unos 10 a 15 días antes de la floración, mediante la fase de floración es cuando el periodo del cultivo es más crítico, ya que va a depender el cuajado del grano y la cantidad de producción por lo que se recomienda riegos que permitan mantener la humedad y una eficaz polinización y cuajado.

### ***1.15.3 Luminosidad***

Tamayo & Valdivieso (2014) sostienen que el cultivo de maíz necesita de 8 a 12 horas diarias de luz solar, teniendo un total durante el ciclo de 1000 a 1500 horas/luz.

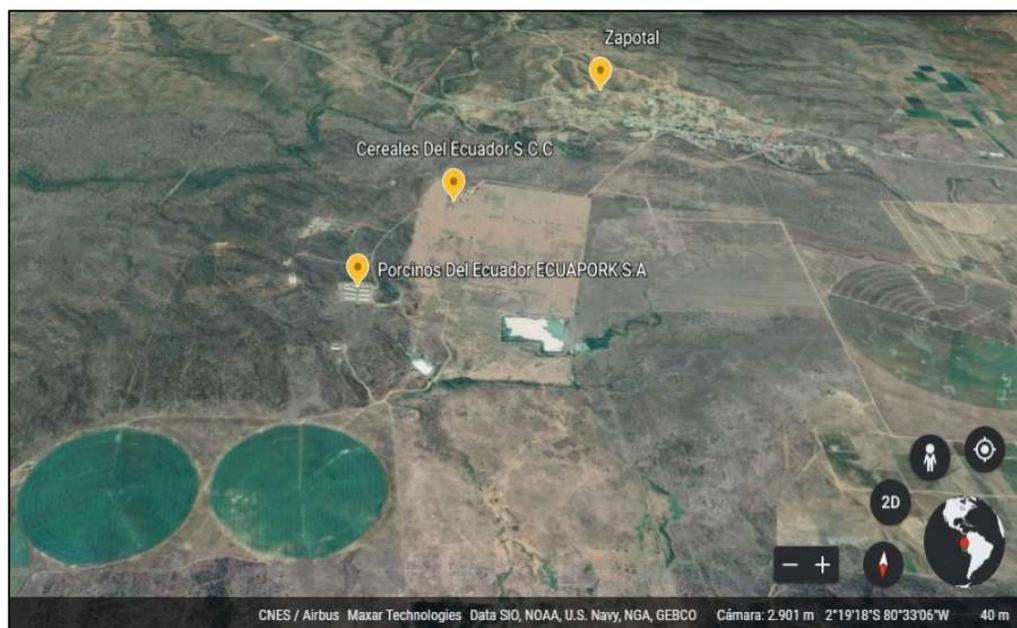
### ***1.15.4 Suelo***

Para el desarrollo del cultivo los suelos más adecuados son los franco-limosos, profundos y fértiles, que contengan un gran contenido en materia orgánica del 3% al 4% y que los mismos se encuentren bien drenados, además, los valores de pH óptimos oscilan entre 6.5 y 7 aunque el cultivo puede resistir a ciertas condiciones de acidez hasta un pH de 5.5 (Tamayo Borja & Valdivieso Freire, 2014).

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Localización y descripción del lugar de estudio

El presente trabajo de investigación se ejecutó en la *Hacienda Cereales del Ecuador S.C.C.* y, en sitios específicos ubicados en la *Granja Porcícola Ecuapork S.A.*; áreas localizadas en la comuna Zapotal, parroquia Chanduy, provincia de Santa Elena; cuyas coordenadas geográficas son: Latitud: - 2°17'58''S; Longitud: - 80°32'36''O (Figura 1), con una altitud de 40 msnm.



**Figura 1.** Ubicación del lugar experimental: *Hacienda Cereales Del Ecuador S.C.C.*, *Granja Ecuapork Zapotal S.A.*, comuna Zapotal, provincia de Santa Elena.

**Fuente:** Google Earth (2021).

#### 2.1.1 Condiciones edafoclimáticas del lugar experimental

Entre las principales características climáticas del lugar de estudio, se destacan valores promedios entre los meses de enero a julio, alcanzando una temperatura media de 27.9 °C; precipitación media de 882 mm y humedades relativas muy variadas, que oscilan entre 88% y 91% (Moreira Arcentales *et al.*, 2020).

Los suelos que predominan en la hacienda son medianamente alcalinos, con niveles de salinidad muy bajos y con poco contenido de materia orgánica (Tabla 5).

**Tabla 5.** Análisis de suelo del lugar experimental.

Parámetros	Unidad	Resultados
<b>Químicos</b>		
pH	-	8.2
Conductividad eléctrica	dS/m	0.27
Materia orgánica	%	0.57
Nitrógeno – Nítrico (N-NO <sub>3</sub> )	mg/Kg	23.2
Fósforo (P)	mg/Kg	6.6
Potasio (K)	mg/Kg	586

**Fuente:** Laboratorio AGRORUM S.A., (2020).

## 2.2 Materiales y equipos

### 2.2.1 Materiales biológicos

#### 2.2.1.1 Purines tratados por aireación y microorganismos eficientes

A continuación, se muestra en la Tabla 6, información correspondiente a los valores respectivos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual tratada y sin tratamiento; mostrando los siguientes resultados:

**Tabla 6.** Análisis inicial y final de los efluentes porcinos tratados.

Agua residual S <sub>1</sub>		Sin tratamiento	Con tratamiento
Parámetros	Unidad	Resultados	Resultados
<b>Fisicoquímicos</b>			
pH	-	7.64	8.91
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1924	487.5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	3 130	1 005
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	>1 022.5	>1 022.5
Nitrógeno total (N)	mg/L	86.79	94.33
Fósforo (P)	mg/L	100.00	72.00
Potasio (K)	mg/L	1 087	1 304
<b>Microbiológicos</b>			
Coliformes Totales	NMP/100 mL	3.3 x 10 <sup>6</sup>	1.6 x 10 <sup>8</sup>
Mohos y Levaduras	UFC/mL	1.07 x 10 <sup>5</sup>	3.10 x 10 <sup>5</sup>

**Fuente:** Laboratorio AGRORUM S.A., (2020).

### 2.2.1.2 *Microorganismos eficientes*

Microorganismos activos *Agro Total Pack* se caracteriza por ser un producto biológico multifuncional con cepas de alta pureza que actúan sinérgicamente, ofreciendo una variedad de beneficios, como, por ejemplo: acelera la descomposición de la materia orgánica, mejora la formación radicular, estimula el crecimiento en las plantas, optimiza costos de insumos utilizados en la agricultura, entre otros (AGEARTH, 2020). En la siguiente tabla se encuentra información más detallada del producto (Tabla 7).

**Tabla 7.** Información técnica del producto comercial microorganismos activos ATP.

Contenido mínimo	
Especie básica	Cantidad (UFC/ml)
Bacillus subtilis	4 x 10 <sup>8</sup>
Bacillus megaterium	5 x 10 <sup>8</sup>
Lactobacillus acidophilus	3 x 10 <sup>8</sup>
Lactobacillus plantarum	5 x 10 <sup>8</sup>
Saccharomyces cerviciae	1 x 10 <sup>8</sup>
Ac. Grasos Totales	0.13%
Ac. Grasos Totales	19.23
Ac. Fórmico	-
Ac. Láctico	-
Ac. Propiónico	-

**Fuente:** AGEARTH (2020).

### 2.2.1.3 *Semillas de maíz híbrido variedad COPA SV 3243*

Se detalla en la siguiente tabla las características particulares de la variedad de semilla a utilizar para el presente estudio (Tabla 8):

**Tabla 8.** Características particulares de la variedad de semilla a utilizar.

<b>Maíz híbrido variedad Copa SV 3243</b>	
Especie:	Maíz duro
Cultivar o híbrido:	Copa
Pureza mínima (%):	97%
Germinación mínima (%):	90%
<b>Particularidades</b>	
Altura de planta:	244 cm
Altura de inserción de la mazorca:	117 cm
Días de emergencia a la floración:	50-53 días
Días de emergencia a madurez fisiológica:	80-85 días
Días de emergencia a cosecha	120-125 días
Variedad de muy buen rendimiento	

**Fuente:** AGRIPAC (2020).

### **2.2.2 Materiales de campo**

- Azadón
- Machete
- Pala
- Cinta métrica
- Piolas
- Estacas
- Bomba manual (20 litros)
- Libreta de apuntes
- Bolsas de papel
- Lapiceros
- Marcador permanente

### **2.2.3 Equipos**

- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Laptop
- Balanza analítica

#### **2.2.4 Programas**

- Software AutoCAD versión 2018.
- Software InfoStat versión estudiantil.
- Google Earth
- Software Microsoft Excel

### **2.3 Métodos**

El presente trabajo de investigación se encuentra dividido en dos etapas; la primera inicia con la evaluación de purines previamente tratados por aireación y microorganismos eficientes, los mismos que serán aplicados en la variedad de maíz híbrido *Copa SV 3243* durante 36 días de crecimiento del cultivo, considerando las condiciones ambientales del lugar de estudio (Fase A), por consiguiente, la segunda fase corresponde a la recopilación y levantamiento de información in situ en granja con el objetivo de proyectar y establecer el diseño de un sistema de lagunas aireadas, como alternativa para tratar de manera eficiente los efluentes porcinos generados de los diferentes procesos del sistema de producción porcícola (Fase B).

#### **2.3.1 Evaluación de purines aplicados en el cultivo de maíz (Fase A)**

Los purines provenientes de granja, previo a su descarga a cuerpos receptores atraviesan un proceso de tratamiento preliminar y primario, es decir, métodos físicos, encargados de la separación de sólidos; consecutivamente, dichos efluentes son depositados y almacenados por un periodo de tiempo determinado en lagunas de estabilización aerobias donde el proceso de aireación se da de manera natural, a partir de estos efluentes se lleva a cabo los tratamientos respectivos a escala experimental que luego serán evaluados en el cultivo de *maíz híbrido var Copa 3243*.

##### **2.3.1.1 Tratamientos y diseño experimental**

###### **a) Tratamiento seleccionado**

Los efluentes porcinos aplicados y evaluados en la presente investigación, son producto de 12 días de tratamientos, con 20 horas de aireación/día e inclusión al 6% microorganismos activos, comercialmente conocido como *Agro Total Pack*.

## b) Diseño experimental

En esta fase del proyecto, el modelo estadístico utilizado para el presente experimento comprende un diseño completamente al azar (DCA), con 5 tratamientos y 5 repeticiones, obteniendo un total de 25 unidades experimentales; dentro de este modelo se considera como fuente de variación, las diferentes concentraciones del purín tratado (variable independiente) aplicados de manera foliar a los 3 días después de siembra (dds), los mismos que estuvieron evaluados durante 36 días de crecimiento del cultivo de maíz (Tabla 9).

A partir de lo expuesto, la metodología para el procesamiento de datos se encuentra fundamentado en un modelo experimental con un solo factor, cuya variable de interés es la concentración del purín tratado, evaluado en diferentes niveles (Tabla 10).

**Tabla 9.** Variable independiente del experimento

Concentraciones del purín tratado	
Tratamientos	Descripción
C <sub>0</sub>	Sin tratamiento
C <sub>1</sub>	0.5 %
C <sub>2</sub>	1%
C <sub>3</sub>	2%
C <sub>4</sub>	4%

**Fuente:** Elaboración propia

## c) Análisis de varianza

Con la finalidad de conocer los intervalos de confianza y las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se utilizó como método la prueba estadística de comparaciones múltiples de Tukey, utilizando como modelo de datos un análisis de varianza simple con observaciones múltiples, los datos fueron procesados con la ayuda del programa Microsoft Excel y el software InfoStat versión estudiantil. A continuación, se detallan los grados de libertad correspondientes al experimento (Tabla 10):

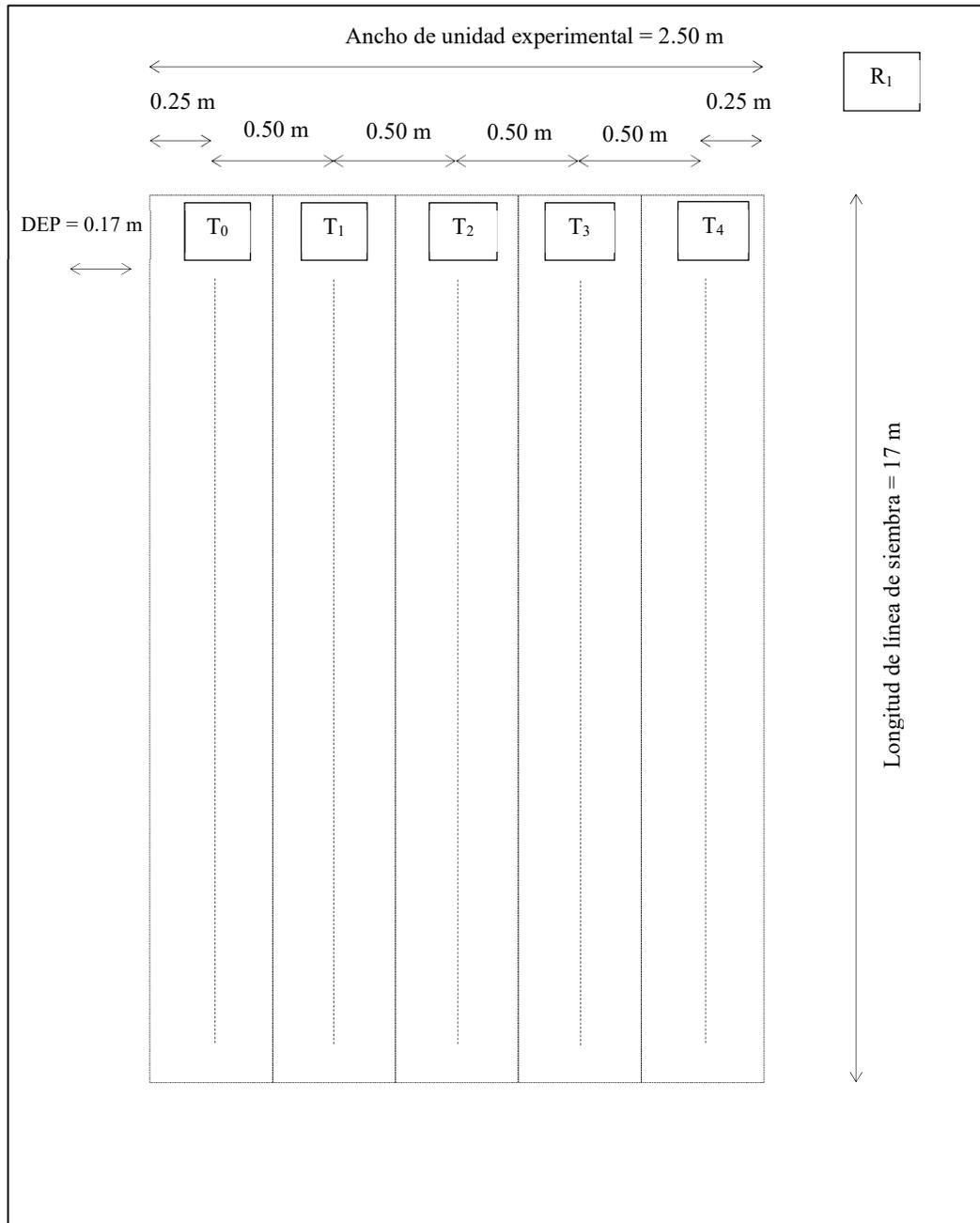
**Tabla 10.** Grados de libertad del experimento

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>
Total	24
Tratamientos	4
Error	20

**d) Delineamiento experimental**

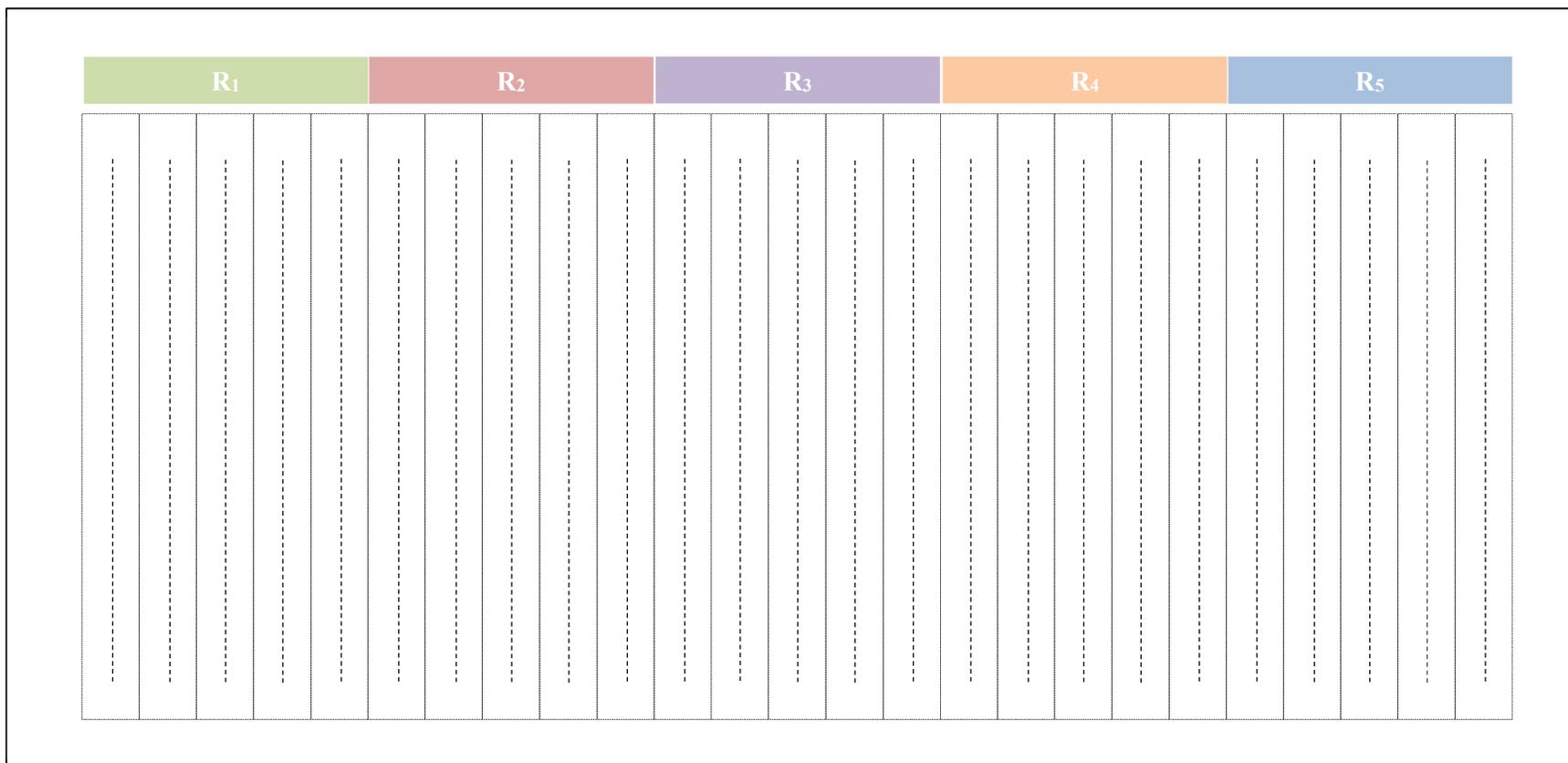
a) Diseño experimental	DCA
b) Número de tratamientos	5
c) Número de repeticiones	5
d) Tratamientos*repeticiones	25
e) Área total de unidad experimental (m <sup>2</sup> )	8.50
f) Distancia entre hilera (m)	0.50
g) Distancia entre planta (m)	0.17
h) Longitud de la línea de siembra (m)	17
i) Ancho de la línea de siembra (m)	0.50
j) Número de plantas por sitio	1
k) Número de plantas por línea	100
l) Número de hileras	25
m) Número de plantas por experimento	2500
n) Distancia entre unidades experimentales (m)	0.50

La Figura 2, presenta la unidad experimental, con un área de 8.50 m<sup>2</sup>, se encuentra distribuida en 5 hileras, 4 hileras corresponden a los tratamientos en función a las concentraciones de purín diluidas con agua para riego, más una hilera que representa al tratamiento testigo (C<sub>0</sub>), los datos se tomaron de 10 plantas/tratamiento y de cada repetición (5 repeticiones), obteniendo mediciones de 50 plantas/unidad experimental con un total 250 plantas para las siguientes variables altura de planta, diámetro de tallo, longitud de la hoja, número de hojas y peso fresco para la variable longitud radicular se retiraron de la hilera 5 muestras, obteniendo mediciones de 125 plantas/día de evaluación.



**Figura 2.** Bosquejo de las unidades experimentales (primera repetición).

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 3.** Distribución en campo de tratamientos y repeticiones.

**Fuente:** Elaboración propia.

### **2.3.1.2 Manejo del ensayo**

El cultivo de maíz híbrido variedad *Copa SV 3243* se estableció en un área aproximada de 250 m<sup>2</sup>, área dividida en 25 unidades experimentales, cada unidad experimental estuvo conformada por un total de 100 plantas/hilera, las mismas que estuvieron sometidas durante 36 días bajo la aplicación de diferentes concentraciones de purines porcinos diluidos al 0.5%, 1%, 2% y 4% en agua para riego.

#### **a) Preparación del terreno**

- Entre las labores previas a la siembra, se encuentra la preparación del terreno, actividad que permitió facilitar un mejor desarrollo de la zona radicular.
- Por consiguiente, se aplicaron durante riegos alternados 3 días antes de siembra hasta que el suelo alcance la humedad necesaria para la siembra.
- Se limitó el terreno con materiales de campo, entre estos: cinta métrica, piola y estacas.
- Las líneas de riego se distribuyeron según el número de tratamiento y repeticiones.

#### **b) Siembra**

- La siembra se realizó manualmente con el método de espeque colocando una semilla por sitio, se consideró un marco de plantación de 0.17 entre planta y 0.50 cm entre hilera.
- Cada línea de siembra representa una unidad experimental conformada por un total de 100 plantas/hilera.

#### **c) Aplicaciones foliares**

- Las aplicaciones del purín tratado se las realizó con ayuda de un recipiente de 1.5 litros de capacidad, dosis aplicadas manualmente, iniciando con la primera aplicación a los 3 días después de siembra, con una disolución total/tratamiento de 1250 cc., prácticamente se efectuaron un total de 8 aplicaciones durante los

36 días de evaluación de cultivo, empleando concentraciones al 0.5%, 1%, 2% y 4% del efluente tratado; se detalla las dosis respectivas en la siguiente tabla:

**Tabla 11.** Concentraciones y aplicaciones del purín tratado.

Tratamientos	Dosis (cc.) / tratamiento	Dosis total (cc.) / repeticiones	Nº de aplicaciones/tratamiento	Dosis total aplicada/tratamiento (cc.)
C <sub>0</sub>	0	-	-	-
C <sub>1</sub>	0.5%	6.25	8	250
C <sub>2</sub>	1%	12.5	8	500
C <sub>3</sub>	2%	25	8	1000
C <sub>4</sub>	4%	50	8	2000
Total	93.75	468.75	32	3750

#### d) Riego

- Se instaló un sistema de riego por goteo, efectuando aplicaciones conforme a las necesidades hídricas del cultivo y en consideración a las condiciones climáticas del lugar experimental.

#### e) Monitoreo y evaluación del cultivo

- Constantemente se monitoreó el cultivo, mediante las labores y técnicas adecuadas.
- Dentro de las labores culturales, el control de maleza se lo efectuó de forma manual.
- El cultivo de maíz fue evaluado en los siguientes días después de la siembra: 6, 9, 12, 15, 27 y 36; las variables en estudio estuvieron cuantificadas con ayuda de una cinta métrica, los datos obtenidos se tabularon en hojas de registro o en una libreta de apuntes.
- Se estableció un cronograma de actividades teniendo como referencia la fecha de inicio del ensayo experimental, de modo que los días de calendario, permitieron determinar los tiempos de aplicación del efluente tratado y los

tiempos de evaluación del cultivo, en el Anexo 2 se muestra el cronograma de actividades para la fase A.

### **2.3.1.3 Variables experimentales**

Para el presente ensayo experimental se consideraron las siguientes variables:

#### **a) Porcentaje de germinación (Pg.)**

Permite conocer la viabilidad y potencial germinativo por un número dado de semillas, las evaluaciones serán a los 5 y 10 días después de siembra (dds).

#### **b) Altura de plantas (Ap.)**

Variable valorada desde la superficie del suelo hasta el nudo de la hoja superior, durante los intervalos de tiempo establecidos (6, 9, 12, 15, 27 y 36 dds).

#### **c) Longitud radicular (Lr.)**

Variable estimada a partir de la raíz de mayor longitud (desde el cuello del vástago hasta el meristema apical de la misma) a los 4, 8, 12 y 24 días después de germinación (dds).

#### **d) Número de hojas (Nh.)**

Se realizó el conteo respectivo del número de hojas desarrolladas a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra (dds).

#### **e) Longitud de hoja (Lh.)**

Las mediciones de esta variable, correspondiente a la longitud de hoja, se la realizó al mismo tiempo que las variables evaluadas de: altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas.

#### **f) Peso fresco de la planta (Pf.)**

Con ayuda de una balanza analítica se procedió a determinar el peso fresco final de la planta/tratamiento, variable considerada a los 36 días después de siembra (dds).

### **2.3.2 Diseño de un sistema de tratamiento de efluentes porcinos (Fase B)**

La presente investigación se enfocó en un estudio temporal, tipo descriptivo, ajustado a un proyecto real durante un tiempo de 5 años.

Por consiguiente, la evaluación del proyecto se lo realizó desde diferentes perspectivas, con el objetivo de llevar a cabo, la proyección de un sistema de tratamiento de efluentes porcinos mediante el uso de nuevas tecnologías (aireadores y separador de sólidos), estimando la eficiencia de los sistemas propuestos, en el menor tiempo posible y que sean económicamente viables para la empresa.

Se inició con el reconocimiento del sistema de lagunas de estabilización, con la finalidad de caracterizar cada uno de los procesos que intervienen en el tratamiento de efluentes porcinos.

Por otra parte, se realizó una visita a las instalaciones respectivas de Sitio 1 (S<sub>1</sub>), llevando a cabo un levantamiento de información *in situ*, de tal forma que se dispuso de la información necesaria que ayuden a identificar factores claves para el modelo propuesto, como así también, seleccionar tecnologías eficientes que contribuyan a mejorar el sistema lagunar de aguas residuales; tecnologías capaces de reducir la carga contaminante de los parámetros físico-químicos: DBO<sub>5</sub> (Demanda Biológica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno), dando alternativas económicamente viables para la empresa y que puedan ser tratadas en el menor tiempo posible.

El modelo propuesto se diseñó en base a un sistema de lagunas aerobias, que consiste en un sistema prolongado de aireación durante un tiempo de 24 horas, proceso que estará representado mediante equipos (aireadores mecánicos) que aporten la cantidad necesaria de aire para el tratamiento de efluentes. Otro de los equipos utilizados para el tratamiento de las excretas es un separador de sólidos, como su nombre mismo lo indica, permite separar los residuos líquidos de sólidos.

### ***2.3.2.1 Modelación del sistema de tratamiento de aguas residuales***

Los procesos de tratamiento de aguas residuales por lo general se encuentran representados en base a una modelación, de tal modo que, un modelo de proceso engloba un conjunto de ecuaciones que permiten predecir comportamientos físicos, químicos y biológicos, así lo define Cárdenas Murillo (2012), considerando lo expuesto por este autor, la presente investigación se basa en un modelo de proceso, en donde se utilizaron metodologías teóricas y básicas para la construcción del diseño.

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

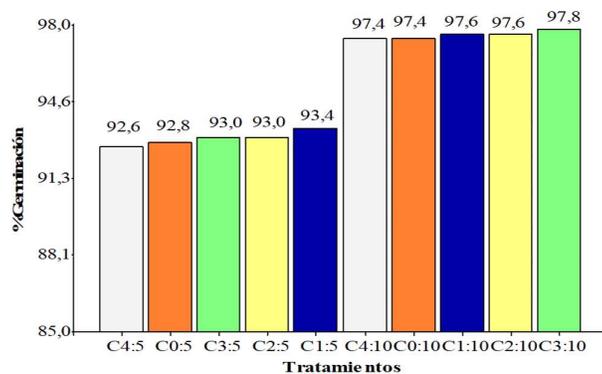
**3.1 Análisis de la fase A:** Efecto de aplicación de diferentes concentraciones de purín porcino en la variedad de maíz híbrido Copa SV 3243.

### 3.1.1 Porcentaje de germinación a los 5 y 10 días después de siembra (dds)

El análisis de varianza del porcentaje de germinación, estima un  $p - valor > 0.05$  (Tabla 12); demostrando de esta manera que no existen diferencias significativas entre tratamientos, es decir, los valores reflejan medias poblacionales similares, lo que indica que las concentraciones de purín diluidas en agua de riego no inciden en los procesos germinativos de la semilla de maíz; estadísticamente no existe diferencias, sin embargo, a través de un análisis comparativo de las medias, se puede interpretar que el tratamiento  $C_1$  alcanzó un porcentaje de germinación promedio de 93.40% (a los 5 días), comparando los resultados alcanzados a los 5 vs 10 dds, esto permitió observar una alta viabilidad de nacencia en las semillas en todos los tratamientos. Mientras que a los 10 dds se pudo observar una alta viabilidad de las semillas, en todos los tratamientos (Figura 4).

**Tabla 12.** Medias comparativas entre los tratamientos en relación a la variable porcentaje de germinación (%G).

Tratamientos							
Tiempos	$C_0:0\%$	$C_1:0.5\%$	$C_2:1\%$	$C_3:2\%$	$C_4:3\%$	CV	p-valor
5	92.80	93.40	93.00	93.00	92.60	1.21	0.8412
10	97.40	97.60	97.60	97.80	97.40	0.63	0.823



**Figura 4.** Diagrama comparativo de medias del porcentaje de germinación del híbrido *var Copa SV 3243* evaluadas a los 5 y 10 días después de siembra, sometidas bajo el efecto de aplicación de diferentes concentraciones de purines.

### 3.1.2 Altura de planta a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra (dds)

Los resultados que se muestran en la Tabla 13, indican que los tratamientos en los primeros días (6 y 9 días) del ensayo, no muestran diferencia significativa en relación a la variable altura de la planta (*p*-valor 0.4539 – 0.9563), sin embargo, los promedios obtenidos a los 12 días, muestran diferencias encontradas tal como el tratamiento C<sub>2</sub> con un promedio de 19.71 cm, comparando con el testigo C<sub>0</sub> con 18.49 cm de altura.

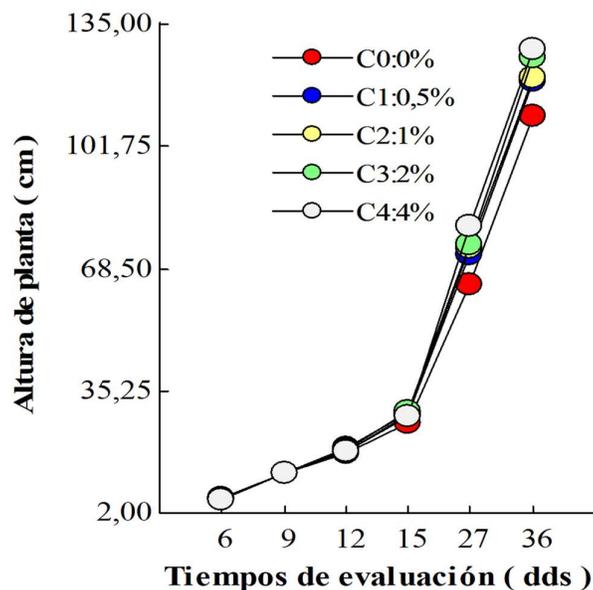
Continuando con el ritmo de crecimiento se pudo determinar significancia estadística entre los demás días de evaluación, de tal manera que a los 15, 27 y 36 días, las plantas sometidas a concentraciones del (C<sub>3</sub>) 2% y (C<sub>4</sub>) 4% alcanzaron a los 36 días, alturas máximas promedios de 125.75 y 128.38 cm respectivamente; identificando a C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> como los tratamientos que incidieron positivamente en la variable altura de planta.

Teniendo en cuenta los resultados descritos en esta variable, es notable como a medida que transcurren los días de crecimiento de las plantas, éstas logran asimilar de mejor manera las concentraciones empleadas, de tal modo que, la relación días de crecimiento es directamente proporcional a las concentraciones de purines, las mismas que favorecen al crecimiento y desarrollo de las plantas.

Con la Figura 5 se puede corroborar también todo lo mencionado acorde a la variable altura de planta.

**Tabla 13.** Medias comparativas entre los tratamientos en relación a la variable altura de planta (cm).

Tiempos (dds)	Tratamientos					CV	p-valor
	C <sub>0</sub> :0%	C <sub>1</sub> :0.5%	C <sub>2</sub> :1%	C <sub>3</sub> :2%	C <sub>4</sub> :4%		
6	5.84	5.95	6.05	5.79	5.72	16.4	0.4539
9	12.85	12.99	13.12	13	12.85	13.47	0.9563
12	18.49	18.69	19.71	19.25	18.73	14.18	0.0486
15	26.73	28.82	29.25	29.72	28.27	15.9	0.0132
27	63.97	72.44	74.05	74.9	79.85	14.82	<0.0001
36	109.91	119.59	120.69	125.75	128.38	14.82	<0.0001



**Figura 5.** Curva de crecimiento de las medias de los tratamientos en relación a la variable altura de planta ante el efecto de aplicaciones a bajas concentraciones de purines porcinos en plantas de maíz híbrido *var Copa SV 3243* evaluadas a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra.

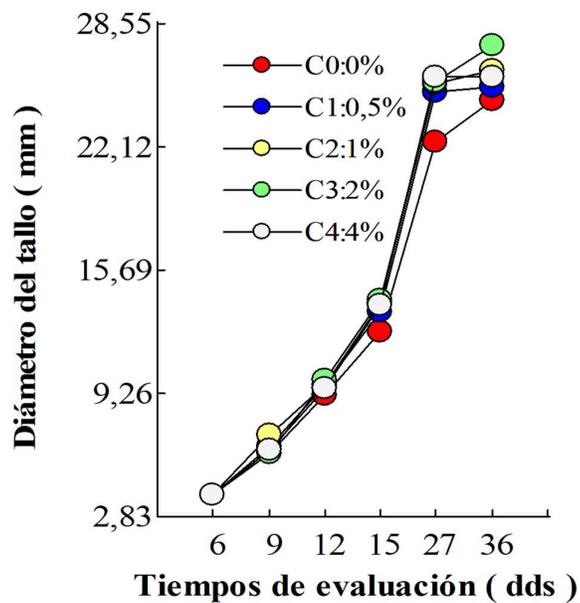
### 3.1.3 Diámetro de tallo a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra (dds)

Los resultados de la variable diámetro de tallo a un nivel de 0.05 de significancia con la prueba de Tukey indican que dentro de esta variable en estudio a los 6 dds no existen diferencias significativas en ninguno de los tratamientos (Tabla 14), en promedio las plantas alcanzaron a medir 4 mm de grosor, por lo tanto, no se observan diferencias algunas. Siguiendo con el análisis de la variable, en la evaluación a los 9 dds, las plantas sometidas a concentraciones del 1% de dilución de purín alcanzaron un grosor de 7.12 mm. De la misma manera, se pudo observar que, a los 12 días, son visibles las diferencias entre los tratamientos, de modo que las plantas bajo el efecto de C<sub>3</sub> alcanzaron en promedio un diámetro de 9.96, 14.16 y 27.38 mm a los 9, 15 y 36 días respectivamente; cabe mencionar que los demás tratamientos junto con el testigo alcanzaron promedios menores en las mismas fechas evaluadas.

Se puede indicar que las plantas bajo concentraciones del 2% de dilución de purín continuaron manteniendo un mayor grosor a diferencia de los demás tratamientos, así como lo muestra la Figura 6.

**Tabla 14.** Medias comparativas entre los tratamientos en relación a la variable diámetro de tallo (mm).

Tratamientos							
Tiempos	C <sub>0</sub> :0%	C <sub>1</sub> :0.5%	C <sub>2</sub> :1%	C <sub>3</sub> :2%	C <sub>4</sub> :4%	CV	p-valor
6	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	-	-
9	6.10	6.44	7.12	6.14	6.28	17.4	<0.0001
12	9.18	9.66	9.66	9.96	9.54	10.98	0.0076
15	12.48	13.50	13.94	14.16	13.90	11.28	<0.0001
27	22.38	24.98	25.38	25.52	25.80	13.34	<0.0001
36	24.56	25.26	26.12	27.38	25.80	12.72	0.3922



**Figura 6.** Curva de crecimiento de las medias de los tratamientos en relación a la variable diámetro de tallo (mm) ante el efecto de aplicaciones a bajas concentraciones de purines porcinos en plantas de maíz híbrido *var Copa SV 3243* evaluadas a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra.

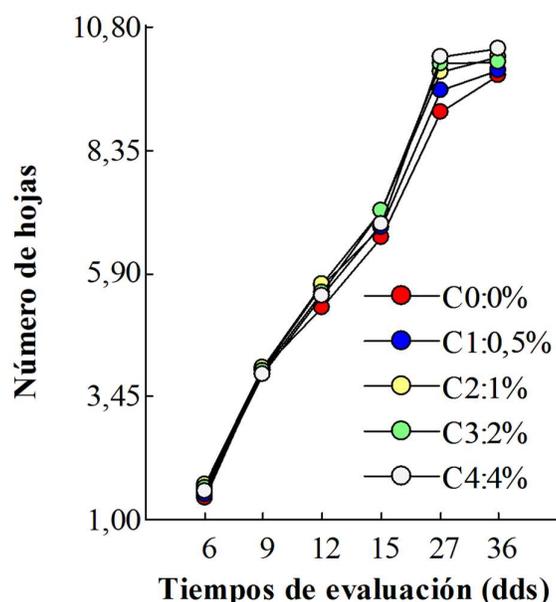
### 3.1.4 Número de hojas a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra (dds)

El análisis de varianza de la variable número de hojas determinó estadísticamente diferencias no significativas entre los tratamientos, mostrando un *p-valor* de 0.0557 y 0.4242 en los primeros días de evaluación del cultivo (Tabla 15). Las diferencias en el

ensayo experimental se observaron a partir de la tercera toma de datos, realizada a los 12 días después de siembra, medias que demuestran significancias estadísticas en la cantidad de hojas desarralladas, destacando que las plantas de maíz con las aplicaciones al 1% de dilución de purín alcanzaron en promedio 6 hojas, lo mismo ocurrió a los 15 días, que el cultivo alcanzó mayor número de hojas con la disolución al 1%, sin embargo, a la misma fecha se observó similitudes con el tratamiento C<sub>3</sub>, finalmente la toma de datos a los 36 días se pudo observar y determinar que las plantas sometidas a concentraciones del 1%, 2% y 4% alcanzaron promedios diferentes así como lo muestra la Tabla 17. A medida que transcurren los días y en dependencia de la fenología de la planta, aumenta el número de hojas, más aún se evidencia en esta variable que siendo mínimos los efectos existen diferencias en los últimos tiempos de evaluación del cultivo, dando respuesta a la incidencia del factor de estudio (concentraciones de agua residual tratada). La Figura 7 permite observar el desarrollo de las plantas.

**Tabla 15.** Medias comparativas entre los tratamientos en relación al número de hojas.

Tiempos	Tratamientos					CV	p-valor
	C <sub>0</sub> :0%	C <sub>1</sub> :0.5%	C <sub>2</sub> :1%	C <sub>3</sub> :2%	C <sub>4</sub> :4%		
6	1.42	1.50	1.70	1.62	1.58	31.94	0.0557
9	4.00	3.98	4.02	3.94	3.90	8.71	0.4242
12	5.22	5.64	5.70	5.52	5.44	9.81	0.0001
15	6.60	6.82	7.14	7.14	6.88	9.76	0.0029
27	9.12	9.54	9.90	10.08	10.20	13.01	0.0003
36	9.82	9.94	10.20	10.10	10.36	11.13	0.0023



**Figura 7.** Curva de crecimiento de las medias de los tratamientos en relación a la variable número de hojas ante el efecto de aplicaciones a bajas concentraciones de purines porcinos en plantas de maíz híbrido *var Copa SV 3243* evaluadas a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra.

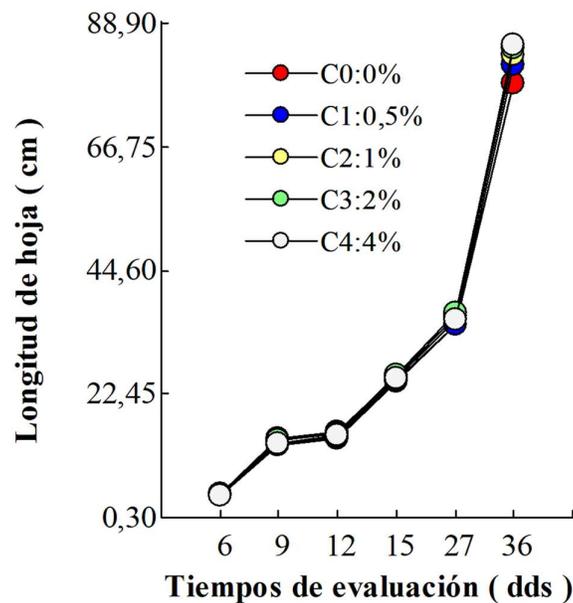
### 3.1.5 Longitud de hoja a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra (dds)

Por medio del análisis de varianza para la variable longitud de hoja se determinó que no existen diferencias estadísticas significativas (*p*-valor 0.0114) en los primeros tiempos de evaluación del cultivo, sin embargo, desde los 12 dds se demuestra un efecto positivo en relación a la variable de estudio (concentraciones del agua residual tratada) en cada uno de los tratamientos (Tabla 16).

De esta manera, la prueba de Tukey, muestra a los tratamiento C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> como los tratamientos con mayor incidencia en la longitud de las hojas, es así como las plantas bajo el efecto de estas concentraciones alcanzaron un promedio de 84.31 y 84.87 cm respectivamente; mientras que el tratamiento testigo refleja como resultado: 78.13 cm, estos datos fueron tomados a los 36 días.

**Tabla 16.** Medias comparativas entre los tratamientos en relación a la longitud de hoja.

Tiempos	Tratamientos					CV	p-valor
	C <sub>0</sub> :0%	C <sub>1</sub> :0.5%	C <sub>2</sub> :1%	C <sub>3</sub> :2%	C <sub>4</sub> :4%		
6	4.13	4.41	4.44	4.34	4.33	18.67	0.3654
9	13.12	13.55	14.28	13.98	13.54	13.47	0.9563
12	14.31	14.73	15.54	15.30	15.15	11.13	0.0023
15	24.55	24.94	25.59	25.83	25.37	14.57	0.4225
27	34.88	34.94	36.27	36.97	35.84	15.64	0.2846
36	78.13	81.33	83.05	84.31	84.87	9.13	0.0001



**Figura 8.** Curva de crecimiento de las medias de los tratamientos en relación a la variable número de hojas ante el efecto de aplicaciones a bajas concentraciones de purines porcinos en plantas de maíz híbrido *var Copa SV 3243* evaluadas a los 6, 9, 12, 15, 27 y 36 días después de siembra.

### 3.1.6 Longitud radicular a los 4, 8, 12, 24 y 36 días después de siembra (dds)

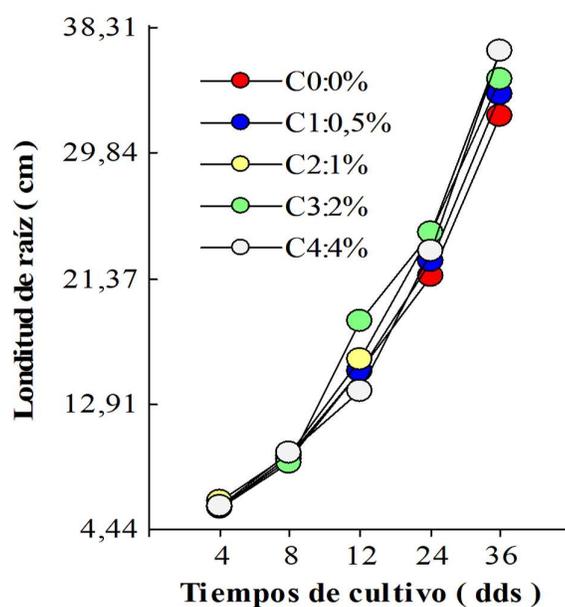
Los resultados obtenidos en el análisis de varianza de la longitud de raíz (Tabla 17) muestran que los tratamientos presentan una alta significancia estadística a partir de los 12 dds, esto indica, un efecto positivo de las diferentes concentraciones de purín diluido, obteniendo respuestas distintas del desarrollo longitudinal de la raíz en cada uno de los tratamientos, se observó que las plantas a los 12 días después de siembra,

la disolución al 2% de concentración de purín diluido, alcanzaron en promedio 18.47 cm (C<sub>3</sub>); y la de menor tamaño fue el C<sub>4</sub> con 13.81 cm; a los 24 dds, se observó que el mismo tratamiento alcanzó mayor longitud de la raíz con 24.52 cm.

Finalmente, a los 36 dds, se observó que los tratamientos C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> alcanzaron similares longitudes en las raíces: 36.72 y 36.77 cm respectivamente, resultado que difiere de los demás tratamientos estudiados (Figura 9).

**Tabla 17.** Medias comparativas de los tratamientos en relación a la longitud de la raíz (cm).

Tiempos	Tratamientos					CV	p-valor
	C <sub>0</sub> :0%	C <sub>1</sub> :0.5%	C <sub>2</sub> :1%	C <sub>3</sub> :2%	C <sub>4</sub> :4%		
4	5.91	5.94	6.36	5.93	5.98	21.68	0.3738
8	9.20	9.37	9.47	8.96	9.57	17.32	0.3548
12	15.14	15.18	15.92	18.47	13.81	14.44	<0.001
24	21.57	22.53	24.48	24.52	23.18	23.3	0.019
36	32.35	33.79	34.77	36.72	36.77	7.37	0.019



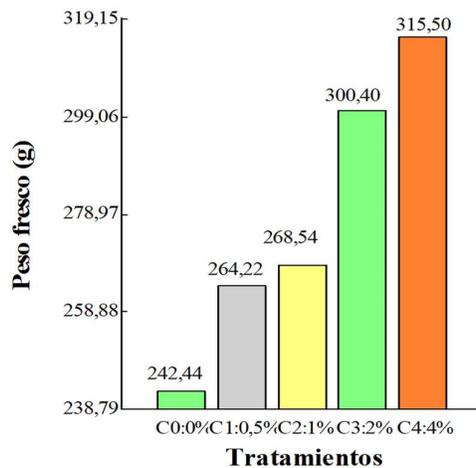
**Figura 9.** Curva de crecimiento de las medias de los tratamientos en relación a la variable longitud de raíz (cm) ante el efecto de aplicaciones a bajas concentraciones de purines porcinos en plantas de maíz híbrido *var Copa SV 3243* evaluadas a los 4, 8, 12, 24 y 36 días después de siembra.

### 3.1.7 *Peso fresco 36 días después de siembra (dds)*

El análisis de varianza de la variable peso fresco, estima un *p* – valor de < 0.0001, (Tabla 18); demostrando de esta manera que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos, es decir, los valores reflejan medias poblacionales diferentes, en donde se pudo determinar que a los 36 días de crecimiento del cultivo, la relación que muestra el cultivo de maíz ante las diferentes concentraciones del purín de cerdo (efluente residual tratado diluido en agua para riego) es directamente proporcional, es decir, a mayor concentraciones de purín la planta aumenta en relación a su peso fresco, lo que permite determinar que, con el tratamiento C<sub>4</sub> las plantas obtuvieron un peso promedio de 315.50 g; al compararlo con el testigo que alcanzó un promedio de 242.24 g; encontrando que existe una gran diferencia porcentual en peso fresco, entre los tratamientos, es decir que el C<sub>4</sub> tiene un 77% más que el testigo; también se encontró diferencia entre los tratamientos de C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub> cuyo peso promedio difieren con el testigo (Figura 10).

**Tabla 18.** Medias comparativas de los tratamientos en relación a la variable peso fresco de la planta a los 36 días después de siembra (g).

Tratamientos							
Tiempos	C <sub>0</sub> :0%	C <sub>1</sub> :0.5%	C <sub>2</sub> :1%	C <sub>3</sub> :2%	C <sub>4</sub> :3%	CV	p-valor
36 dds	242.44	264.22	268.54	300.40	315.50	29.89	<0.0001



**Figura 10.** Diagrama comparativo de medias del peso fresco (g) de las plantas de maíz híbrido *var Copa SV 3243* evaluadas a los 36 días después de siembra, sometidas bajo el efecto de aplicación de diferentes concentraciones de purines previamente tratados.

MacRobert *et al.*, (2015), manifiestan que las variedades de maíz híbrido poseen características agronómicas y genéticas únicas para su producción, diferenciándose por su capacidad de rendimiento, buena adaptabilidad en condiciones adversas y entre una de las principales particularidades es la tolerancia a la pudrición de la semilla, esto se encuentra direccionado a las particularidades que van en relación con la variedad de maíz híbrido *COPA SV 3243*, material genético certificado cuyas cualidades garantizan un 97% de pureza genética mínima y a su vez, un porcentaje mínimo de germinación del 90% (AGRIPAC, 2020), tal es el caso, que las aplicaciones de efluentes porcinos tratados, diluidos en cuatro niveles de concentración (0.5%, 1%, 2% y 4%) no afectan la capacidad germinativa de la variedad en estudio, obteniendo en el ensayo experimental un alto número de semillas germinadas a los 10 días después de siembra, semillas que alcanzaron un alto porcentaje de germinación en todos los tratamientos.

Se logró determinar importancia estadística en los tratamientos a partir de los 12 días después de siembra hasta la etapa de finalización del ensayo (36 dds), determinando que a medida que se desarrolla el cultivo se logró observar una respuesta positiva ante las aplicaciones de concentraciones diluidas de purines porcinos en relación a las variables altura de planta, diámetro de tallo, longitud de hoja, número de hojas, longitud de la raíz y peso fresco de la planta; denotando diferencias entre los tratamientos, estos datos encontrados, inciden en las características fenológicas de la variedad *COPA SV 3243* sometidas a concentraciones del 2% y 4%; Quílez *et al.*, (2020) evaluaron purines de cerdos e indican que el uso de purines beneficia al desarrollo de las plantas, estos autores manifiestan que es debido a que el purín contiene macronutrientes tales como: nitrógeno, fósforo y potasio, como así también, otros microelementos, donde solo el 70% y 75%, corresponde al contenido de nitrógeno (N), que se encuentra disponible para el cultivo.

A través del tratamiento respectivo dado a escala experimental, los efluentes tratados durante un tiempo de 12 días con 20 horas de aireación/día e inclusión al 6% de microorganismos activos, muestran los mejores resultados en comparación con la muestra inicial que no recibió ningún tratamiento (Tabla 6), resultados que indican la remoción de elementos fisicoquímicos tales como: demanda biológica de oxígeno

(DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO) y contenido de fósforo (P); mientras que la cantidad de nitrógeno (N) y potasio (K) aumentan en el efluente.

Dentro de los procesos biológicos aerobios en el tratamiento de efluentes residuales, la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) (Tabla 6) disminuye a medida que aumenta la velocidad de degradación de la materia orgánica (MO), esto es en función de: las características del efluente a tratar (volumen y composición), las condiciones ambientales locales y los microorganismos presentes en el medio, capaces de descomponer la materia orgánica biodegradable desde el día cero hasta los primeros 7 días; actividad biológica que se mantiene estable hasta la segunda semana, en este intervalo de tiempo también se aceleran los procesos de nitrificación y desnitrificación (Sarango *et al.*, 2018), aumenta el contenido de N en la forma que es aprovechable por las plantas; luego de este tiempo, lentamente disminuye el crecimiento microbiano sea por indisponibilidad de nutrientes, cambios del medio, competencia por el espacio disponible, entre otras causas que ocasionan estrés y, por consiguiente, muerte celular (Pedrique De Aulacio & De Castro, 2008).

La disminución en la concentración de fósforo se debe a la asimilación metabólica de este nutriente (Teixeira Correia *et al.*, 2013) por parte de los microorganismos involucrados, conocidos como *acumuladores de fósforo*; que en presencia de oxígeno disuelto acumulan la mayor cantidad de este elemento como reservas de energía para su crecimiento, mecanismo de supervivencia ante la competitividad de nutrientes con otros microorganismos facultativos o ante la posibilidad de someterse a condiciones anaerobias; durante la fase aerobia los microorganismos metabolizan la materia orgánica disuelta al mismo tiempo que el contenido de fósforo empieza a disminuir (Garzón Zúñiga, 2001).

El purín de cerdo se encuentra compuesto de heces y orina; desde el punto de vista químico la orina contiene cantidades bajas en fósforo y altas en potasio; el total de potasio en los purines se encuentra disponible en forma de sales minerales solubles, de tal manera que, puede llegar a desplazarse a una profundidad de 80 cm en el suelo (Lobera Lössel, 2015).

Por lo tanto, los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio (Tabla 6), muestran los valores respectivos del valor nutricional que contienen los efluentes porcinos

previamente tratados a nivel experimental, datos bases con los que se obtuvo por tratamiento, la cantidad de macronutrientes contenidos en la dosis total aplicada del efluente; resultados con los que se evidencia el aporte en nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) que recibió el cultivo de maíz (Tabla 19).

Con la Tabla 19, se puede corroborar todo lo anteriormente mencionado acorde a los resultados obtenidos, los mismos que permitieron identificar a C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> como los tratamientos que brindan mayores aportaciones a las plantas; en concordancia con estos resultados se demuestra como las aplicaciones del efluente porcino inciden en el crecimiento del cultivo de maíz híbrido, consiguiendo efectos positivos en relación a las variables estudiadas.

**Tabla 19.** Contenido de macronutrientes aplicados en el cultivo de maíz por tratamiento.

Tratamientos	Concentración	Dosis total aplicada(mL)	N (mg)	P (mg)	K (mg)
C <sub>0</sub>	0	-	-	-	-
C <sub>1</sub>	0.5%	250	23.58	18	326
C <sub>2</sub>	1%	500	47.17	36	652
C <sub>3</sub>	2%	1000	94.33	72	1304
C <sub>4</sub>	4%	2000	188.66	144	2608

Dados otros estudios, realizados por Yagüe Carrasco & Iguácel Soteras (2015) indican que el purín como fuente orgánica permite reemplazar total o parcialmente la fertilización mineral mediante aplicaciones antes de siembra, sin embargo, es necesario conocer el comportamiento, manejo y aplicación del purín según las condiciones edafoclimáticas de cada zona con el fin de tomar medidas precisas que ayuden a reajustar los planes de fertilización, de tal manera que, se optaría como una iniciativa para próximas investigaciones.

La aplicación de aguas residuales porcinas crudas y tamizadas muestran efectos positivos en la producción de maíz para ensilado, esto se refleja en la producción de materia verde, como también, un incremento en los valores correspondientes a las variables: altura de planta, longitud de mazorca, índice y peso de mazorca, así lo manifiesta Freitas *et al.*, (2004).

Según estudios relacionados en otros cultivos, la aplicación de aguas residuales derivados de los sistemas de producción porcina genera también respuestas favorables, como por ejemplo: altos rendimientos en el cultivo de soya e incremento en la altura de planta, masa verde y área foliar (Hermes *et al.*, 2012); en cambio, en cultivares de algodón se han obtenido mejores comportamientos en masa, absorción y acumulación de nutrientes a diferencia del tratamiento testigo (Medeiros *et al.*, 2015).

## 3.2 Diseño de un sistema de tratamiento de efluentes porcinos (Fase B)

### 3.2.1 Descripción del sistema de tratamientos de efluentes residuales de granja

Los sitios productivos de *Ecuapork Zapotal* cuentan con su propio sistema lagunar de aguas residuales, dichas aguas son descargadas a través de canales a un sistema de tratamiento biológico de lagunas de oxidación (Figura 11), en donde, la presencia de microorganismos facultativos favorece la degradación de materia disuelta y remueve hasta el 50% de la carga contaminante expuesta en el agua, obteniendo de esta manera efluentes de mejor calidad que cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental.



**Figura 11.** Sitio de estudio para el levantamiento de información: *Granja Ecuapork Zapotal*, Santa Elena.

**Fuente:** Google Earth (2021).

Se debe tomar en consideración que los purines derivados de las distintas actividades en granja, son tratados desde los galpones; esto es debido a que se encuentran diseñados en base a canales estratégicos que permiten la mayor retención de excretas o residuos sólidos y, posteriormente son extraídos de forma manual tres veces durante la semana hasta ser trasladados al área de secado, los mismos que luego son reutilizados y aplicados como abonos en el suelo.

### ***3.2.2 Levantamiento de información in situ en granja***

La granja *Ecuapork Zapotal* cuenta con una extensión alrededor de 180 hectáreas destinadas a la explotación intensiva de cerdos, cuya producción estimada al año es de aproximadamente de 3500 animales. El sistema de producción que se maneja en granja es a ciclo cerrado y se encuentra dividido en sitios o también conocidos como fases; sitios sectorizados en granja a kilómetros de distancia. Actualmente, Ecuapork Zapotal se encuentra distribuida en tres áreas: Sitio 1 (S<sub>1</sub>), Sitio 2 (S<sub>2</sub>) y, área núcleo que corresponde al mejoramiento genético.

En base a lo expuesto, el presente estudio acerca del diseño de un sistema de tratamiento de efluentes porcinos se encuentra definido para un solo sector de la granja, conocido como: Sitio 1 (S<sub>1</sub>), el mismo que opera las siguientes fases productivas: pubertad, gestación, maternidad, destete o recría y engorde.

Conociendo las fases productivas que maneja Sitio 1 (S<sub>1</sub>), se procedió a realizar el levantamiento de información en granja, el 22/abril/2021 (Semana 17 del calendario); iniciando con el reconocimiento del lugar en estudio y continuando con el conteo y registró respectivo del total de animales por etapa productiva (Anexo 5). De tal manera, que se consideró, la distribución de animales por galpones, el número de salas por bloques (fase de maternidad), el número de lotes por sala, el número de corrales (fase de destete, engorde y pubertad), el número de jaulas (fase de pubertad) y edad del animal (semanas y días). Por consiguiente, se determinó el peso del animal por medio de tablas relacionadas con las curvas de crecimiento de la línea genética que se maneja en granja en relación con la edad de los cerdos por fase productiva (Anexo 5).

Los datos registrados del levantamiento se categorizaron de forma ordenada conforme a las siguientes etapas: gestación, transición o destete, fase 1 (20 - 40 kg), fase 2 (40 - 70 kg), fase 3 (70 - 100 kg) y sementales, obteniendo un total de 3527 animales contabilizados en Sitio 1 (Tabla 20).

**Tabla 20.** Cantidad de animales registrados por etapa productiva en Sitio 1 (S<sub>1</sub>).

S <sub>1</sub>	Maternidad	Destete	Pubertad	Gestación	Engorde	Total
Hembras			165		117	282
Gestación				836		836
Lactación	1950					1950
Transición		204				204
Fase 1(20 - 40 kg)		25			47	72
Fase 2 (40 - 70kg)					89	89
Fase 3 (70 - 100 kg)					82	82
Sementales			8	4		12
					Total	3527

### 3.2.3 Valores teóricos referenciales de las producciones diarias de purín

Se utilizaron valores teóricos referenciales de las deyecciones diarias de purín de cerdo en sus diferentes etapas productivas (Tabla 21), datos utilizados para estimar la cantidad de efluente total que se genera del sistema de producción en granja.

**Tabla 21.** Volumen y composición de purines por categoría de cerdo (litros/animal/día).

Fase productiva	Volumen de purín (Litros/animal/día)	Estiércol (kg/día)	Densidad (kg/L)
Hembras	16	3.60	1.03
Gestación	11.41	3.60	1.03
Lactación*	15.38	6.30	1.01
Transición Destete GDU	1.61	0.35	1.02
Fase 1 (20 - 40 kg)	7.00	2.30	1.05
Fase 2 (40 - 70 kg)	7.00	2.30	1.05
Fase 3 (70-100 kg)	7.00	2.30	1.04
Sementales	9.00	3	1.05

Descripción: \*(Cerdas madres + camada en maternidad)

**Fuentes:** Vicari (2012), Millares (2011), Babot *et al.*, (2013) y, *Committee of National Pork Producers Council*.

### 3.2.4 Categorización de animales de $S_1$ en referencia a valores teóricos de las producciones diarias de purín por fase productiva

A través del levantamiento de información en granja, se logró cuantificar un total de 3 527 animales que se manejan en todo Sitio ( $S_1$ ), empleando los datos registrados del total de animales por fase productiva y tomando en cuenta los valores referenciales del volumen y composición de purines por categoría de cerdo (litros/animal/día) (Tabla 21), se delimita el tamaño de la población de animales que se manejan en Sitio 1. De tal manera, que los resultados pueden observarse en la Tabla 22.

**Tabla 22.** Cantidad establecida de animales que se manejan en Sitio 1 ( $S_1$ ).

$S_1$	Maternidad	Destete	Pubertad	Gestación	Engorde	Total
Gestación			165	836	117	1118
Lactación*	180					180
Transición		204				204
Fase 1(20 - 40 kg)		25			47	72
Fase 2 (40 - 70kg)					89	89
Fase 3 (70 - 100 kg)					82	82
Sementales			8	4		12
					Total	1757

Es necesario que los sistemas en confinamiento en producción porcina, al momento de llevar a cabo nuevas medidas o métodos más adecuados, eficientes y rentables para el tratamiento de efluentes tomen en cuenta las diferentes fases productivas que se manejan en granja, esto es debido a que el volumen de las deyecciones de los animales no es el mismo para todas las etapas de crecimiento, es lo que sucede, al momento de delimitar el tamaño poblacional de un total de 3527 animales registrados en Sitio 1 ( $S_1$ ) a 1757 animales. Según los valores teóricos que proporcionan la cantidad de deyecciones diarias de purín del cerdo en sus diferentes etapas productivas (Tabla 21), la fase de lactación toma como referencia a las *\*cerdas madres junto con su camada*, de tal manera, que un total de 1770 crías registradas en el área de maternidad (Anexo 5), producen en conjunto con las cerdas madres un volumen total de 15.30 litros/animal/día de purín, es así como, se tomó en cuenta solo la cantidad de cerdas madres registradas (Tabla 22).

### 3.2.5 Valores medios ponderados del volumen y composición del purín por categoría de cerdo (datos teóricos)

#### a) Volumen medio de purín (L/animal/ día)

Se empleó el método del promedio ponderado, en donde los valores referenciales del volumen y composición del purín por categoría de cerdo (Tabla 21), son utilizados como indicadores para la ponderación de datos teóricos y se encuentran relacionados con la cantidad establecida de animales registrados en Sitio 1 (Tabla 22).

Como primer componente a ponderar será el volumen medio del purín (litros/animal/día), de esta forma, se calculó la producción de purín por cada una de las fases productivas, tomando en cuenta que se les asignó una valoración distinta.

Se definen en la siguiente tabla los componentes a considerar para la respectiva ponderación de datos (Tabla 23).

**Tabla 23.** Componentes para la ponderación de datos en relación al volumen de purín por fase productiva (litros/animal/día).

<b>Componentes</b> <b>Fase productiva</b>	<b>A</b> <b>Nº</b> <b>animales</b>	<b>B</b> <b>Volumen producido de purín</b> <b>(L/animal/día)</b>
Gestación	1118.00	11.41
Lactación (Cerdas madres + camada en maternidad)	180.00	15.38
Transición o destete (GDU)	204.00	1.61
Fase 1 (20 - 40 kg)	72.00	7.00
Fase 2 (40 - 70 kg)	89.00	7.00
Fase 3 (70 - 100 kg)	82.00	7.00
Sementales	12.00	9.00

Mediante los componentes detallados en la Tabla 23, se procedió a estimar el promedio del flujo diario de purín (litros/animal/día); para esto se debe multiplicar el número de animales (A) de cada fase productiva por su respectiva ponderación que corresponde al valor teórico del volumen producido de purín (B), es decir, el componente A se

multiplica por el componente B, y de esta manera se obtienen los siguientes valores (Tabla 24).

**Tabla 24.** Valores correspondientes al flujo diario de purín por fase productiva (L/día).

<b>Fase productiva</b>	<b>Flujo diario de purín (L/día)</b>
Gestación	12 756.38
Lactación	2768.40
Transición o destete (GDU)	328.44
Fase 1 (20 - 40 kg)	504.00
Fase 2 (40 - 70 kg)	623.00
Fase 3 (70 -100 kg)	574.00
Sementales	108.00

Continuando con el debido procedimiento para la obtención de datos, se realizó la sumatoria de los resultados obtenidos en la multiplicación de A\*B, dando un total de 17 662.22 litros diarios de purines que se generan por todas las fases productivas.

El flujo medio de purín (L/día), se lo calculó en base a lo siguiente:

$$\text{Valor medio ponderado} = (\Sigma \text{Componente A*B}) / (\text{Cantidad total de animales}(S_1))$$

$$\text{Valor medio ponderado} = (17\ 662.22 \text{ L/día}) / (1757 \text{ animales})$$

$$\text{Valor medio ponderado} = 10.05 \text{ litros/animal/día}$$

Es así como, se obtuvo que el volumen medio de purín por todas las fases productivas que se manejan en Sitio 1 (S<sub>1</sub>) es de 10.05 litros/animal/día.

#### **b) Valor medio de la masa del estiércol (kg/animal/día)**

Se empleó el mismo procedimiento del método de ponderación para obtener el valor medio de la masa del estiércol (kg/animal/día), los resultados se resumen en la Tabla 25.

**Tabla 25.** Promedio ponderado en relación a la cantidad de estiércol (kg/animal/día).

<b>Componentes</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A*B</b>	<b>Promedio ponderado</b>
<b>Fase productiva</b>	<b>Estiércol (kg/animal/día)</b>	<b>N° animales</b>	<b>Estiércol (kg)</b>	<b>Estiércol (kg/animal/día)</b>
Gestación	3.60	1118	4024.8	3.32
Lactación	6.30	180	1134	
Destete (GDU)	0.35	204	71.4	
Fase 1 (20 - 40 kg)	2.30	72	165.6	
Fase 2 (40 - 70 kg)	2.30	89	204.7	
Fase 3 (70-100 kg)	2.30	82	188.6	
Sementales	3.00	12	36	
	Total	1757	5825.1	

**c) Valor medio de la densidad del purín (kg/L)**

Para determinar el valor medio de la densidad del purín, se utilizó como metodología la ponderación de datos, los resultados se resumen en la Tabla 26.

**Tabla 26.** Promedio ponderado en relación a la densidad del efluente (kg/L).

<b>Componentes</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A*B</b>	<b>Promedio ponderado</b>
<b>Fase productiva</b>	<b>Densidad (kg//L)</b>	<b>N° animales</b>	<b>Densidad (kg/L)</b>	<b>Densidad (kg/L)</b>
Gestación	1.03	1118	1154.89	1.03
Lactación	1.01	180	182.52	
Transición o Destete (GDU)	1.02	204	207.87	
Fase 1 (20 - 40 kg)	1.05	72	75.59	
Fase 2 (40 - 70 kg)	1.05	89	93.20	
Fase 3 (70-100 kg)	1.04	82	85.64	
Sementales	1.05	12	12.6	
	Total	1757	1812.3	

### 3.2.6 Estimaciones del flujo diario de purines producidos en S<sub>1</sub>

En la Tabla 27, se presenta el volumen total de flujos diarios de purines que se genera a partir de los diferentes procesos productivos que maneja *Sitio 1*, donde se puede observar, que un total de 1757 animales producen diariamente un volumen total de 17.66 m<sup>3</sup> de purines (Tabla 27).

**Tabla 27.** Flujo diario de efluentes porcinos generados de Sitio (S<sub>1</sub>).

Volumen de efluentes porcinos en S <sub>1</sub>	
Volumen medio de purín (L/animal/día) (valor teórico)	10.05
Cantidad de animales en Sitio (S <sub>1</sub> )	1757
Total de flujos diarios de purín (L/día)	17 662.22
Total de flujos diarios de purín (m <sup>3</sup> /día)	17.66

### 3.2.7 Estimaciones del peso de la solución teórica del purín (kg/animal/día)

En la tabla 28, se utilizan los promedios ponderados para obtener respuesta al peso de la solución teórica del purín, de tal modo, que el resultando representa a la cantidad de estiércol y orina que excreta un animal al día (kg/animal/día), por siguiente, este resultado es la base para obtener el peso de los residuos líquidos que componen a la solución teórica (kg/animal/día) y, con la diferencia del peso medio del estiércol, se obtuvo que la cantidad de orina que produce un animal al día es de 7.05 kg.

**Tabla 28.** Resultados de las estimaciones de la solución teórica del purín (kg/animal/día).

Valores referenciales	Solución teórica
Volumen medio del purín (L/animal/día)	10.05
Densidad media del purín (kg/L)	1.03
Peso medio del estiércol (kg/animal/día)	3.32
Peso de la solución teórica (Estiércol + Orina) (kg/animal/día)	10.37
Peso de la orina (kg/animal/día)	7.05

### 3.2.8 *Porcentajes de participación de los componentes de la solución teórica del purín*

A través de las estimaciones del peso de la solución teórica (Tabla 28), se obtienen en resumen los resultados de la Tabla 29, en donde se puede observar que el volumen total de flujos diarios que se manejan en granja se encuentra compuesto tanto del porcentaje de participación de deyecciones líquidas (orina) como también del porcentaje de participación de residuos sólidos (excretas), es así como, se obtuvo que el flujo diario de purines, se encuentra constituido por un volumen total de 5.65 m<sup>3</sup>/día de estiércol y 12.01 m<sup>3</sup>/día de deyecciones líquidas, ambos componentes cumplen distintas proporciones en la solución teórica.

**Tabla 29.** Resultados obtenidos de la solución teórica del purín.

<b>Solución teórica</b>	
% Participación del estiércol (PE)	31.97
% Participación de la orina (PO)	68.03
Volumen del estiércol (m <sup>3</sup> /día)	5.65
Volumen de la orina (m <sup>3</sup> /día)	12.01
Total de efluentes producidos en S <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /día)	17.66

### 3.2.9 *Porcentajes de participación de los componentes del efluente*

En resumen, las excretas líquidas como sólidas cumplen distintos porcentajes de participación en la solución teórica del purín, tal como se lo muestra en los resultados de la Tabla 29, sin embargo, no son las mismas que se manejan dentro del efluente; las diferencias se obtienen en el volumen estimado del estiércol que, en contraste con los resultados obtenidos de las estimaciones del purín, tienen una diferencia de 3.31 m<sup>3</sup>, es decir, existe un porcentaje de remoción de residuos sólidos de aproximadamente el 50%, mientras que, el volumen estimado de las excretas líquidas (orina) es el mismo, y se mantiene en 12.01 m<sup>3</sup> tanto para la solución teórica del purín como para la solución del efluente, en este caso, el efluente se caracteriza por ser una solución con mayor fluidez ya que contiene más cantidades de líquidos que sólidos; los resultados estimados para el efluente se resumen en la Tabla 30.

La remoción del 50% de estiércol del efluente es debido al manejo que reciben las excretas desde los galpones, en donde, se retiene la mayor cantidad de residuos sólidos hasta llegar al sistema de lagunas de oxidación, volúmenes que fluctúan en 14.36 m<sup>3</sup> de efluentes; valor estimado que representa al flujo diario de purines que provienen del sistema de producción de cerdos.

**Tabla 30.** Porcentajes de participación de los componentes del efluente a tratar.

<b>Efluente</b>	
% Participación del estiércol (PE)	16.32
% Participación de la orina (PO)	83.68
Volumen del estiércol (m <sup>3</sup> /día)	2.34
Volumen de la orina (m <sup>3</sup> /día)	12.02
Total de efluentes a tratar (m <sup>3</sup> /día)	14.36

Si la cantidad de residuos sólidos es nula, el volumen total del efluente disminuye, por lo tanto, las deyecciones líquidas intervienen con una proporción del 100%, los resultados se resumen en la Tabla 31.

**Tabla 31.** Volumen (m<sup>3</sup>) del efluente a tratar sin la participación del estiércol.

<b>Efluente</b>	
% Participación del estiércol (PE)	-
% Participación de la orina (PO)	100
Volumen del estiércol (m <sup>3</sup> /día)	-
Volumen de la orina (m <sup>3</sup> /día)	12.01
Total de efluentes a tratar (m <sup>3</sup> /día)	12.01

### ***3.2.10 Tratamiento de efluentes a nivel experimental***

Según el proyecto de investigación titulado: “*Evaluación de un sistema de tratamiento de efluentes generados de una granja porcina bajo diferentes tiempos de aireación y concentraciones de microorganismos activos*”, se determinó que los mejores resultados se vieron reflejados en el tratamiento M<sub>2</sub> de los segundos ensayos experimentales, muestras que recibieron 12 días de aireación y el 6% de inclusión de microorganismos activos, tratando un volumen total de 0.0036 m<sup>3</sup> de agua residual,

las mismas que estuvieron aireadas durante un tiempo de 240 horas, con un aporte diario de aire de 3.84 m<sup>3</sup> por tratamiento; muestra que recibió en total un volumen de aire inyectado de 46.08 m<sup>3</sup> (Tabla 32).

**Tabla 32.** Datos obtenidos a nivel experimental.

<b>Tratamiento de efluentes a nivel experimental</b>	
Volumen de la muestra tratada (m <sup>3</sup> )	0.0036
Tiempo de aireación/día (h)	20.00
Días de aireación de la muestra	12.00
Tiempo total de aireación (horas)	240.00
Aporte total de aire a la muestra (m <sup>3</sup> )	46.08
Aporte diario de aire de la muestra tratada (m <sup>3</sup> /día)	3.84

### **3.2.11 Aporte diario de aire que necesita el efluente a tratar**

A nivel experimental, los mejores resultados para la reducción de puntos de DBO<sub>5</sub> y DQO se obtuvieron con un aporte total de aire de 3.84 m<sup>3</sup>/día; para este caso, con un valor estimado de 14.36 m<sup>3</sup> diarios del efluente, se requiere de un aporte total de 15 315.01 m<sup>3</sup> de aire/día; de tal manera que, a escala industrial, la cantidad de flujos es constante y mayor es la demanda de aire que se necesita inyectar en el efluente (Tabla 33).

**Tabla 33.** Necesidad de aire para el efluente a tratar (m<sup>3</sup>)

Flujo diario de efluentes (m <sup>3</sup> )	14.36
Aporte total de aire que necesita el efluente a tratar (m <sup>3</sup> /día)	15 315.01

En cambio, cuando en el efluente los residuos líquidos intervienen en una proporción del 100%, lo que corresponde a un volumen total de 12.01 m<sup>3</sup> de efluente, la demanda de aire que se requiere inyectar es de 12 815.97 m<sup>3</sup>/diarios, los resultados se muestran en la Tabla 34.

**Tabla 34.** Necesidad de aire para un volumen (m<sup>3</sup>) de efluente a tratar sin la participación del estiércol.

Flujo diario de efluentes a tratar (m <sup>3</sup> )	12.01
Aporte total de aire que necesita el efluente a tratar (m <sup>3</sup> )	12 815.97

### **3.2.12 Propuesta de tecnologías para el tratamiento de efluentes**

En base a los resultados que se obtuvieron en anteriores investigaciones, surge la iniciativa de la evaluación de nuevas alternativas o tecnologías que permitan tratar de manera más eficiente los efluentes de las lagunas de estabilización de Sitio 1, estableciendo las siguientes opciones: un separador de sólidos y aireadores.

#### **a) Aireadores**

El funcionamiento de los aireadores en piscina actúa transfiriendo aire a los tratamientos biológicos secundarios, removiendo sustancias contaminantes expuestas en el agua residual y acelerando el proceso de descomposición o degradación de materia orgánica; en el sistema, el aire es conducido al efluente por medio de tuberías y difusores.

Las características del modelo de aireador se detallan en la siguiente Tabla 35.

**Tabla 35.** Características del aireador.

<b>Características</b>	
Modelo del equipo	Sutorbilt Legend - 7 H
Cantidad de equipos a utilizar	4
Periodo de amortización del equipo (año)	5
Aporte de aire (m <sup>3</sup> /día)	21 168

#### **b) Separador de Sólidos**

Esta tecnología se encuentra diseñada para separar la fracción sólida de la fracción líquida, la misma que, funciona por gravedad y comprensión mecánica, permitiendo fácilmente el manejo de los residuos.

Las características del separador de sólidos se detallan en las siguiente Tabla 36.

**Tabla 36.** Características del separador de sólido.

<b>Características</b>	
Modelo de equipo	SEPCOM Vertical
Cantidad de equipos a utilizar	1.00
Periodo de amortización del equipo (años)	5.00

### 3.2.13 Dimensiones del sistema de lagunas aireadas

En resumen, se presenta en la Tabla 37, los resultados obtenidos para el dimensionamiento del sistema de lagunas aireadas, datos que se encuentran en relación con el flujo diario del efluente, los días de permanencia en piscina y, el caudal de aire a inyectar en el sistema. Para poder acelerar el proceso de aireación, se estable un tiempo de tratamiento de 6 días, de tal manera que, un volumen de 86.15 m<sup>3</sup> a los 6 días de tratamiento recibirá un caudal de 91 890.09 m<sup>3</sup>/aire/día y, en función a que los flujos de efluentes son constantes, se establece para el diseño una capacidad de piscina de 102 m<sup>3</sup>, se considera la capacidad de 7 días de permanencia del efluente, con el fin de evitar desbordamiento en el sistema. Los 6 días de tratamiento que necesita el efluente se encuentran basados en los resultados a nivel experimental.

**Tabla 37.** Dimensiones de lagunas aireadas para el tratamiento de efluentes porcinos.

<b>Día de permanencia del efluente/ Volumen de efluente a tratar (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Caudal de aire (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Capacidad de piscina (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Superficie de piso (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie de paredes de fondo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie de piso y paredes de fondo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie de paredes laterales (m<sup>2</sup>)</b>
1/14.36	15 315.01	15.00	7.50	4.00	11.50	30.00
2/28.72	30 630.03	29.50	14.75	4.00	18.75	59.00
3/43.07	45 945.04	44.00	22.00	4.00	26.00	88.00
4/57.43	61 260.06	59.00	29.50	4.00	33.50	118.00
5/71.79	76 575.07	73.00	36.50	4.00	40.50	146.00
6/86.15	91 890.09	88.00	44.00	4.00	48.00	176.00
7/100.50	107 205	102.00	51.00	4.00	55.00	204.00

Cuando el sistema de lagunas aireadas trabaja en conjunto con un separador de sólidos, el efluente en el sistema disminuye, sin embargo, los flujos que se manejan desde granja seguirán siendo los mismos (14.36 m<sup>3</sup>), la diferencia es que el separador de sólidos permitirá tratar de una manera más eficiente los residuos del efluente.

Aunque el efluente a tratar es de menor proporción, deberá recibir el mismo tiempo de tratamiento, es decir, lo que compete a los 6 días; en este caso, un volumen de 72.09 m<sup>3</sup>, a los 6 días de tratamiento recibirá un volumen total de 76 895.82 m<sup>3</sup> de aire, tratados en una piscina cuya capacidad estimada es de 86 m<sup>3</sup>, tal como se lo observa en la Tabla 38.

**Tabla 38.** Dimensiones de lagunas aireadas en función con un separador de sólido para el tratamiento de efluentes porcinos.

Día de permanencia del efluente/Volumen de efluente a tratar (m <sup>3</sup> /día)	Aporte de aire al efluente (m <sup>3</sup> /día)	Capacidad de piscina (m <sup>3</sup> )	Superficie de piso (m <sup>2</sup> )	Superficie de paredes de fondo (m <sup>2</sup> )	Superficie entre piso y laterales (m <sup>2</sup> )	Superficie de paredes laterales (m <sup>2</sup> )
1/12.01	12 815.97	13.00	6.50	4.00	10.50	26.00
2/24.03	25 631.94	25.00	12.50	4.00	16.50	50.00
3/36.04	38 447.91	37.00	18.50	4.00	22.50	74.00
4/48.06	51 263.88	49.00	24.50	4.00	28.50	98.00
5/60.07	64 079.85	61.00	30.50	4.00	34.50	122.00
6/72.09	76 895.82	73.00	36.50	4.00	40.50	146.00
7/84.10	89 711.79	86.00	43.00	4.00	47.00	172.00

### 3.2.14 Resultados de DBO<sub>5</sub> y DQO en relación al volumen de aire a inyectar en el efluente

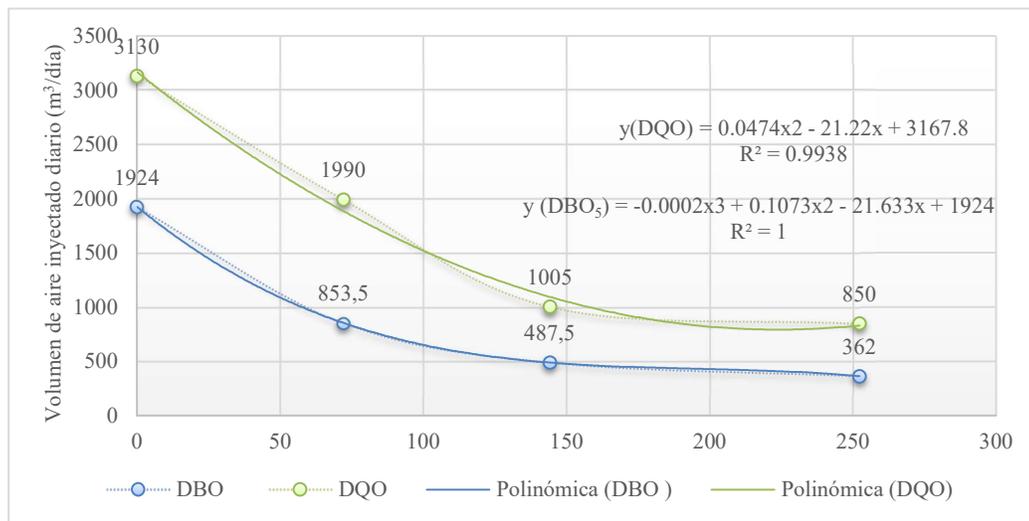
En la Tabla 39, se observan los resultados obtenidos de ensayos experimentales, basados en tiempos de aireación y dosificación de microorganismos activos para el tratamiento de efluentes porcinos, en respuesta a los parámetros de DBO<sub>5</sub> y DQO.

Los resultados se representan por medio de una gráfica de dispersión, la misma que permite insertar una línea de tendencia polinómica con su respectiva ecuación (Figura

12), esta relación se encuentra en función a un sistema de tratamiento de efluentes empleando como tecnología aireadores, en donde el efluente a tratar es de 14.36 m<sup>3</sup>.

**Tabla 39.** Puntos de DBO<sub>5</sub> y DQO a los 6, 12 y 21 días de tratamiento.

Días de tratamiento	Volumen de aire inyectado	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)
0	0	1924	3130
6	91.89	853.5	1990
12	183.78	487.5	1005
21	321.61	362	850

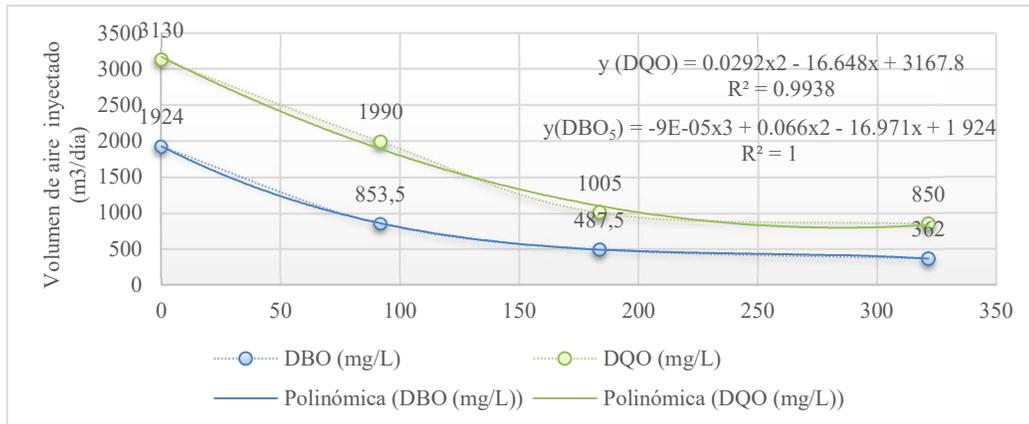


**Figura 12.** Resultados de DBO<sub>5</sub> y DQO en función a un sistema de tratamiento de efluentes empleando como tecnología: aireadores mecánicos.

Los valores correspondientes a la Tabla 40 se encuentran en función a un sistema de tratamiento de lagunas aireadas en conjunto con un separador de sólidos. Las ecuaciones correspondientes a las líneas de tendencia polinómica son empleadas para estimar los puntos de DBO<sub>5</sub> y DQO de un efluente de 12.01 m<sup>3</sup> (Figura 13).

**Tabla 40.** Puntos de DBO<sub>5</sub> y DQO a los 6, 12 y 21 días de tratamiento.

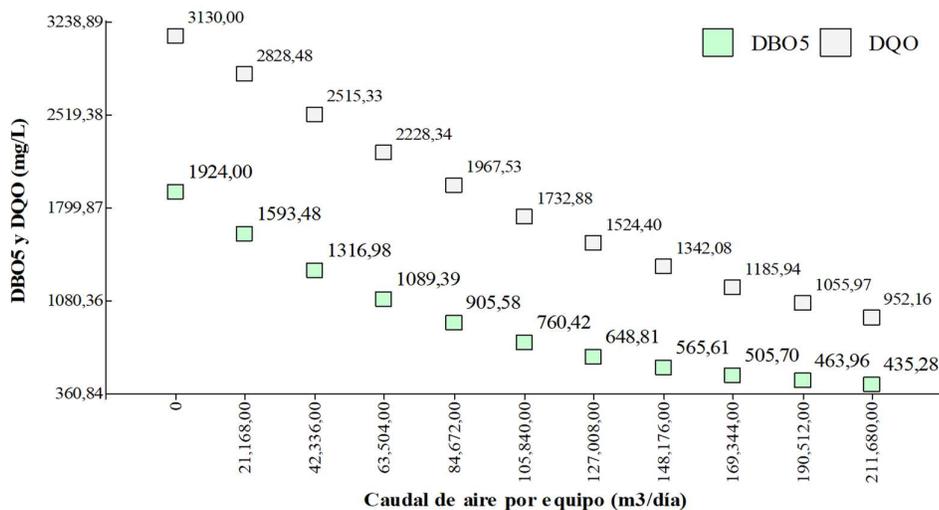
Días de tratamiento	Volumen inyectado diario	DBO <sub>5</sub>	DQO
0	0	1924	3130
6	72.09	853.5	1990
12	144.18	487.5	1005
21	252.31	362	850



**Figura 13.** Resultados de DBO<sub>5</sub> y DQO en función a un sistema de tratamiento de efluentes empleando como tecnología aireadores y un separador de sólidos.

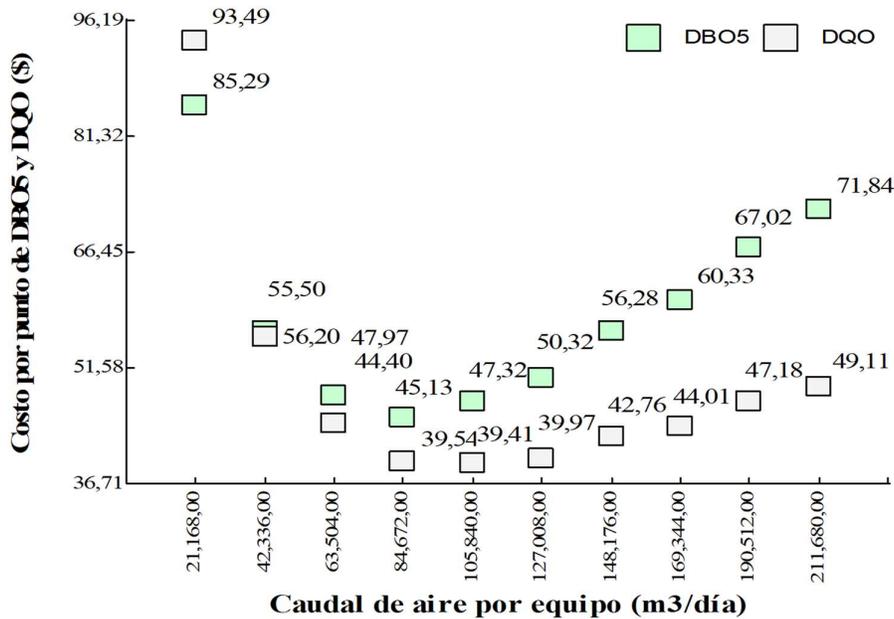
### 3.2.15 Estimaciones de DBO<sub>5</sub> y DQO para el sistema de tratamiento de lagunas aireadas

A través de los resultados obtenidas en base a la ecuación polinómica, se pudo determinar que la aireación en el sistema de tratamiento de efluentes porcinos, es directamente proporcional en el declive de puntos de DBO<sub>5</sub> y DQO, es decir, mientras se inyecte un mayor volumen de aire en el efluente, menores serán los valores correspondientes en las cantidades de DBO<sub>5</sub> y DQO, tal como, se observa en la Figura 14.



**Figura 14.** Aireación vs decrecimiento de DBO<sub>5</sub> y DQO (Eficiencia del aireador).

Los resultados de acuerdo a las estimaciones dadas corresponden a que tan eficiente actúa el sistema de tratamientos de efluentes porcinos mediante la implementación de aireadores, de tal forma, que se analizan los resultados desde diferentes puntos de vista, tomando en cuenta aspectos como: costos de construcción de piscina, costos de operación, costos de reparación y costos de equipos; al interpretar los aspectos ya mencionados, se determina entre las opciones dadas (Tabla 41), que la alternativa más eficiente y económicamente viable para el sistema, es mediante la interacción de 4 aireadores (Figura 21) que en conjunto aportaran al día un suministro de aire de 84 672.00 m<sup>3</sup>, volumen que será inyectado al efluente para su debido tratamiento de 6 días, de tal forma que la piscina deberá tener una capacidad de 102 m<sup>3</sup>, es así como, el proyecto más eficiente se estima alrededor de \$ 45 961.15; relación más cercana para conseguir el decrecimiento más alto en puntos de DBO<sub>5</sub> y DQO al menor costo, en este caso, para poder reducir cada punto de DBO<sub>5</sub> se necesita de \$ 45.13, lo mismo sucede con el DQO, en donde se requieren de \$ 39.54 (Figura 15). Esta relación de costo nos indica la cantidad de puntos a reducir tanto de DBO<sub>5</sub> como DQO durante un tiempo de 5 años, los resultados se detallan de mejor manera en la Tabla 42.



**Figura 15.** Costo por reducción de punto de DBO<sub>5</sub> y DQO (Eficiencia del aireador)

El diseño del sistema de tratamiento de efluentes porcinos mediante aireadores mecánicos, se representa en la Figura 21.

**Tabla 41.** Alternativas para la eficiencia del proyecto empleando como tecnología aireadores.

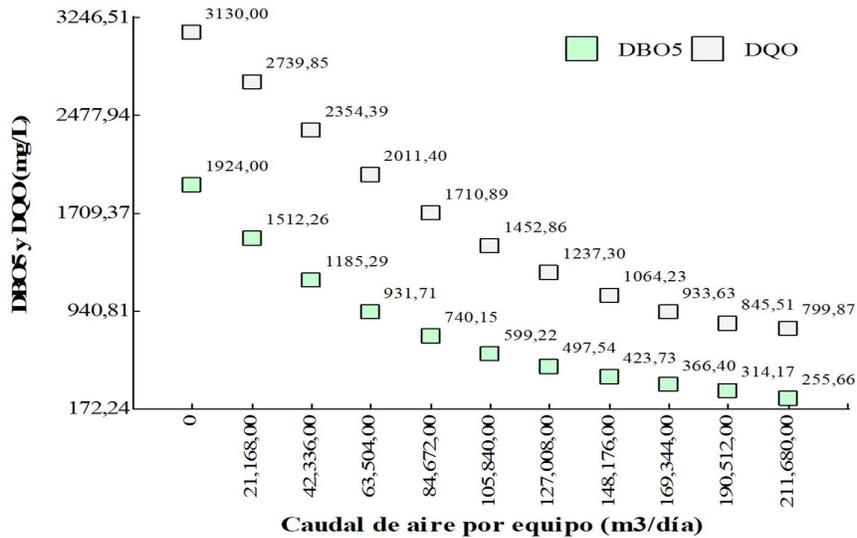
<b>N° de aireadores</b>	<b>Aporte total de aire*equipos</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>	<b>Capacidad de piscina</b>	<b>Costo de construcción</b>	<b>Costo de operación</b>	<b>Costo de reparación</b>	<b>Costo de equipos</b>	<b>Costo total</b>
0	0	1 924.00	3 130.00	1	\$ 1 453.33	\$ 1 480.56	\$ 246.76	\$ 5 924.15	\$ 9 104.80
1	21 168.00	1 593.48	2 828.48	7	\$ 10 173.31	\$ 10 363.92	\$ 1 727.32	\$ 5 924.15	\$ 28 188.70
2	42 336.00	1 316.98	2 515.33	7	\$ 10 173.31	\$ 10 363.92	\$ 1 727.32	\$ 11 848.30	\$ 34 112.85
3	63 504.00	1 089.39	2 228.34	7	\$ 10 173.31	\$ 10 363.92	\$ 1 727.32	\$ 17 772.45	\$ 40 037.00
4	84 672.00	905 575	1 967.53	7	\$ 10 173.31	\$ 10 363.92	\$ 1 727.32	\$ 23 696.60	\$ 45 961.15
5	105 840.00	760 422	1 732.88	8	\$ 11 626.64	\$ 11 844.48	\$ 1 974.08	\$ 29 620.75	\$ 55 065.95
6	127 008.00	648 806	1 524.40	9	\$ 13 079.97	\$ 13 325.04	\$ 2 220.84	\$ 35 544.90	\$ 64 170.75
7	148 176.00	565 606	1 342.08	11	\$ 15 986.63	\$ 16 286.16	\$ 2 714.36	\$ 41 469.05	\$ 76 456.20
8	169 344.00	505 700	1 185.94	12	\$ 17 439.96	\$ 17 766.72	\$ 2 961.12	\$ 47 393.20	\$ 85 561.00
9	190 512.00	463 965	1 055.97	14	\$ 20 346.62	\$ 20 727.84	\$ 3 454.64	\$ 53 317.35	\$ 97 846.45
10	211 680.00	435 280	952.16	15	\$ 21 799.95	\$ 22 208.40	\$ 3 701.40	\$ 59 241.50	\$ 106 951.25

(Tabla 41. Continuación)

<b>N° de aireadores</b>	<b>Aporte total de aire*equipos</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>	<b>Capacidad de piscina</b>	<b>Diferencia DBO<sub>5</sub></b>	<b>Diferencia DQO</b>	<b>Costo por Pto DBO<sub>5</sub></b>	<b>Costo por Pto DQO</b>
0	-	1 924.00	3 130.00	1	-	-	-	-
1	21 168.00	1 593.48	2 828.48	7	330.52	301.52	\$ 85.29	\$ 93.49
2	42 336.00	1 316.98	2 515.33	7	607.02	614.67	\$ 56.20	\$ 55.50
3	63 504.00	1 089.39	2 228.34	7	834.61	901.66	\$ 47.97	\$ 44.40
4	84 672.00	905 575	1 967.53	7	1 018.43	1 162.47	\$ 45.13	\$ 39.54
5	105 840.00	760 422	1 732.88	8	1 163.58	1 397.12	\$ 47.32	\$ 39.41
6	127 008.00	648 806	1 524.40	9	1 275.19	1 605.60	\$ 50.32	\$ 39.97
7	148 176.00	565 606	1 342.08	11	1 358.39	1 787.92	\$ 56.28	\$ 42.76
8	169 344.00	505 700	1 185.94	12	1 418.30	1 944.06	\$ 60.33	\$ 44.01
9	190 512.00	463 965	1 055.97	14	1 460.03	2 074.03	\$ 67.02	\$ 47.18
10	211 680.00	435 280	952.16	15	1 488.72	2 177.84	\$ 71.84	\$ 49.11

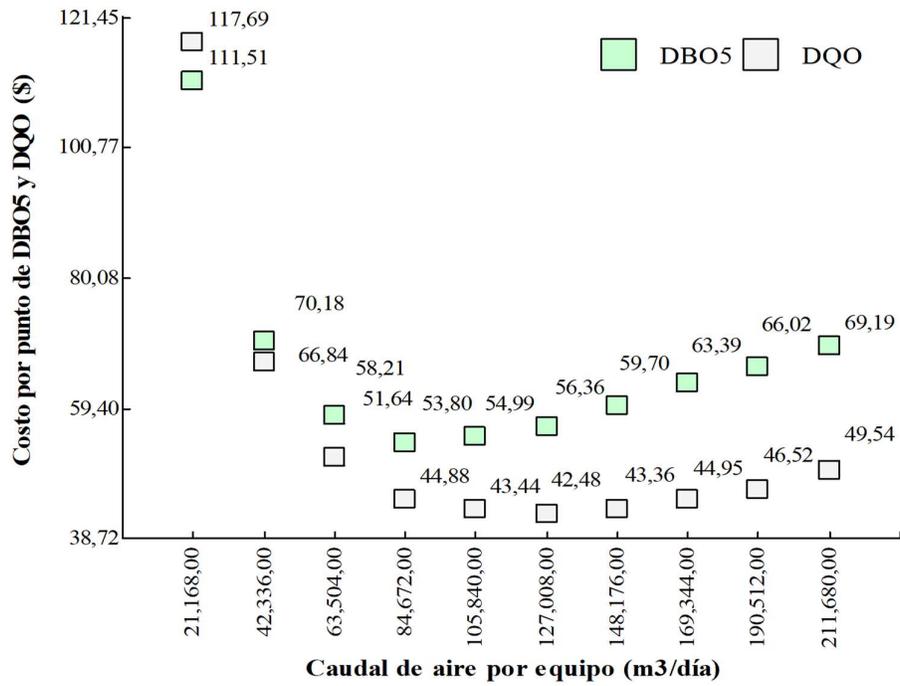
### 3.2.16 Estimaciones de DBO<sub>5</sub> y DQO para el sistema de tratamiento de lagunas aireadas en conjunto con un separador de sólidos

En la Figura 16, se puede observar que a medida que aumenta el aporte de oxígeno, existen reducciones de las cantidades de DBO<sub>5</sub> y DQO, estos resultados se obtuvieron a partir de resultados de datos experimentales y mediante la estimación de valores obtenidos de la ecuación polinómica (Figura 13).



**Figura 16.** Aireación vs decrecimiento DBO<sub>5</sub> y DQO (Eficiencia del aireador con el separador de sólidos)

Dentro de este sistema, intervienen los aireadores en conjunto con el separador de sólidos, es así como se determinó, que el mayor decrecimiento de los puntos de DBO<sub>5</sub> y DQO al menor costo posible, se los obtiene mediante 4 aireadores y un separador de sólidos (Figura 18, 19 y 20), por lo tanto, el aporte de aire diario que recibirá el sistema de tratamiento de efluentes porcinos es de 84 672.00 m<sup>3</sup>/día, almacenados en una piscina cuya capacidad es de 86 m<sup>3</sup>, de tal forma que la eficiencia del sistema se puede observar en la diferencia de puntos de DBO<sub>5</sub> y DQO, en este caso, se necesita de \$53.80 para reducir un punto de DBO<sub>5</sub>, en cambio, se requieren de \$ 44.88 para la reducción de puntos del DQO (Figura 17), esta reducción de puntos se encuentran proyectada durante un tiempo de 5 años y, los resultados con exactitud se muestran en la Tabla 42.



**Figura 17.** Costo por reducción de punto de DBO<sub>5</sub> y DQO (Eficiencia del aireador junto con el separador de sólidos)

Se puede observar en la Figura 18, 19 y 20, el diseño de un sistema de tratamiento de efluentes porcinos mediante aireadores mecánicos en conjunto con un separador de sólidos.

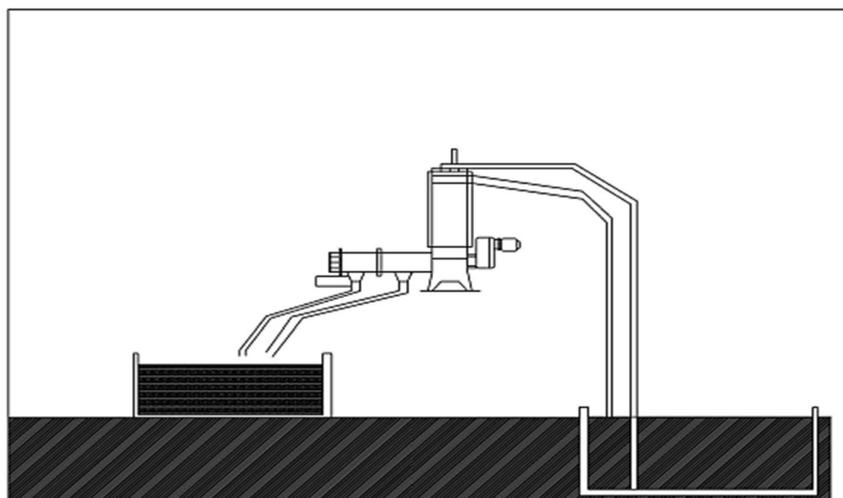
**Tabla 42.** Alternativas para la eficiencia del proyecto empleando como tecnologías: aireadores y un separador de sólidos.

N° de aireadores	Aporte total de aire*equipos	DBO <sub>5</sub>	DQO	Capacidad de piscina	Costo de construcción	Costo de operación	Costo de reparación	Costo Separador de sólidos	Aireadores	Costo total
0	-	1 924.00	3 130.00	1	\$ 1 278.23	\$ 1 283.15	\$ 213.86	\$ 28 650.00	\$ 5 924.15	\$ 37 349.39
1	21 168.00	1 512.26	2 739.85	7	\$ 8 947.61	\$ 898.21	\$ 1 497.02	\$ 28 650.00	\$ 5 924.15	\$ 45 916.99
2	42 336.00	1 185.29	2 354.39	7	\$ 8 947.61	\$ 898.21	\$ 1 497.02	\$ 28 650.00	\$ 11 848.30	\$ 51 841.14
3	63 504.00	931.71	2 011.40	7	\$ 8 947.61	\$ 898.21	\$ 1 497.02	\$ 28 650.00	\$ 17 772.45	\$ 57 765.29
4	84 672.00	740.15	1 710.89	7	\$ 8 947.61	\$ 898.21	\$ 1 497.02	\$ 28 650.00	\$ 23 696.60	\$ 63 689.44
5	105 840.00	599.22	1 452.86	9	\$ 11 504.07	\$ 1 154.84	\$ 1 924.74	\$ 28 650.00	\$ 29 620.75	\$ 72 854.40
6	127 008.00	497.54	1 237.30	10	\$ 12 782.30	\$ 1 283.15	\$ 2 138.60	\$ 28 650.00	\$ 35 544.90	\$ 80 398.95
7	148 176.00	423.73	1 064.23	12	\$ 15 338.76	\$ 1 539.78	\$ 2 566,32	\$ 28 650.00	\$ 41 469.05	\$ 89 563.91
8	169 344.00	366.40	933.63	14	\$ 17 895.22	\$ 1 796.41	\$ 2 994.04	\$ 28 650.00	\$ 47 393.20	\$ 98 728.87
9	190 512.00	314.17	845.51	15	\$ 19 173.45	\$ 1 924.73	\$ 3 207.90	\$ 28 650.00	\$ 53 317.35	\$106 273.43
10	211 680.00	255.66	799.87	17	\$ 21 729.91	\$ 2 181.36	\$ 3 635.62	\$ 28 650.00	\$ 59 241.50	\$115 438.39

(Tabla 42. Continuación)

<b>N° de aireadores</b>	<b>Aporte total de aire*equipos</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>	<b>Capacidad de piscina</b>	<b>Diferencia DBO<sub>5</sub></b>	<b>Diferencia DQO</b>	<b>Costo por Pto DBO<sub>5</sub></b>	<b>Costo por Pto DQO</b>
0	-	1 924.00	3 130.00	1	-	-	-	-
1	21 168.00	1 512.26	2 739.85	7	411.74	390.15	\$ 111.52	\$ 117.69
2	42 336.00	1 185.29	2 354.39	7	738.71	775.61	\$ 70.18	\$ 66.84
3	63 504.00	931.71	2 011.40	7	992.29	1 118.60	\$ 58.21	\$ 51.64
4	84 672.00	740.15	1 710.89	7	1 183.85	1 419.11	\$ 53.80	\$ 44.88
5	105 840.00	599.22	1 452.86	9	1 324.78	1 677.14	\$ 54.99	\$ 43,44
6	127 008.00	497.54	1 237.30	10	1 426.46	1 892.70	\$ 56.36	\$ 42.48
7	148 176.00	423.73	1 064.23	12	1 500.27	2 065.77	\$ 59.70	\$ 43.36
8	169 344.00	366.40	933.63	14	1 557.60	2 196.37	\$ 63,39	\$ 44.95
9	190 512.00	314.17	845.51	15	1 609.83	2 284.49	\$ 66.02	\$ 46.52
10	211 680.00	255.66	799.87	17	1 668.34	2 330.13	\$ 69.19	\$ 49.54

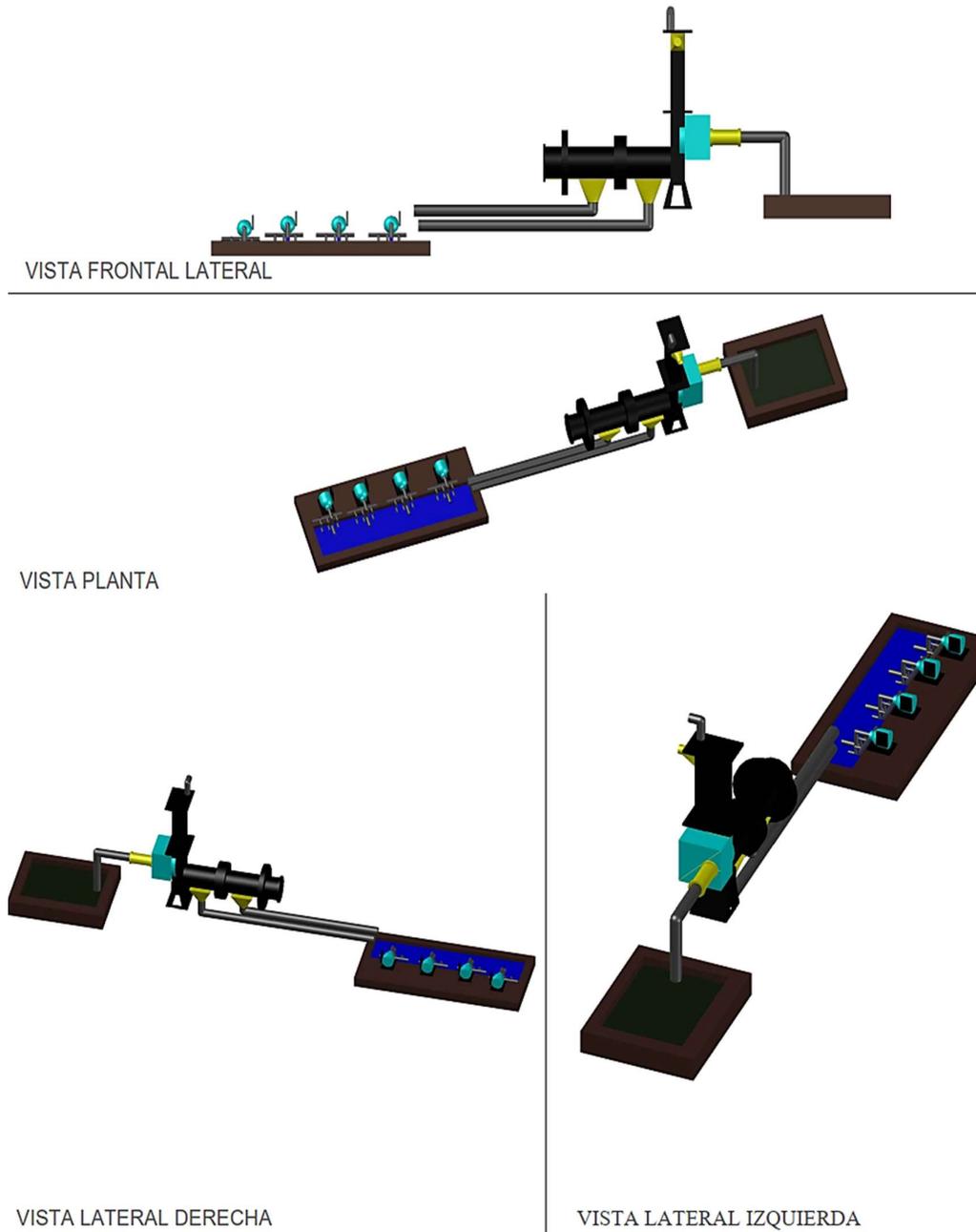
## VISTA FRONTAL DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PORCINOS CON UN SEPARADOR DE SÓLIDOS



	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA					
	FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS					
	INGENIERÍA AGROPECUARIA					
	SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES DERIVADOS DE UNA GRANJA PORCINA COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA EL MEJORAMIENTO DEL PURÍN CON FINES AGRONÓMICOS					
DIBUJO:	ERIKA KATHERINE PANCHANA PARRA ODALYS NATASHA CASTILLO SALAZAR		APROBADO POR:	ING. MERCEDES SANTISTEVAN ING. MIGUEL LEMA CARRERA		
ESCALA:	INDICADA	FECHA:	HOJA:	1	DE:	4

**Figura 18.** Sistema de tratamiento de efluentes porcinos mediante un separador de sólidos.

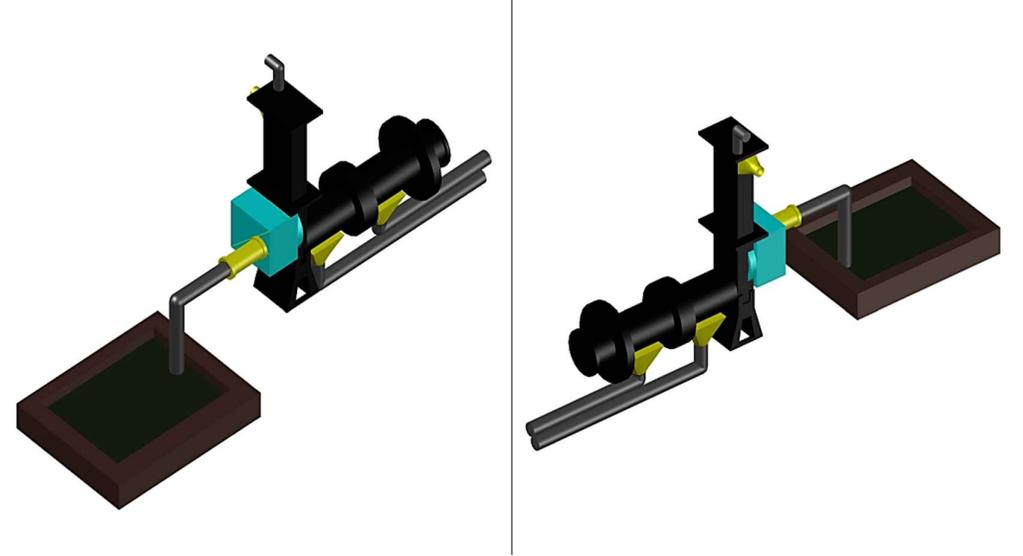
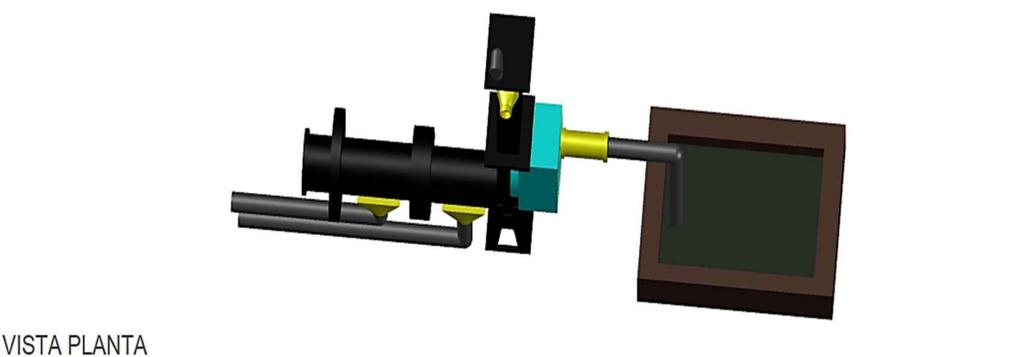
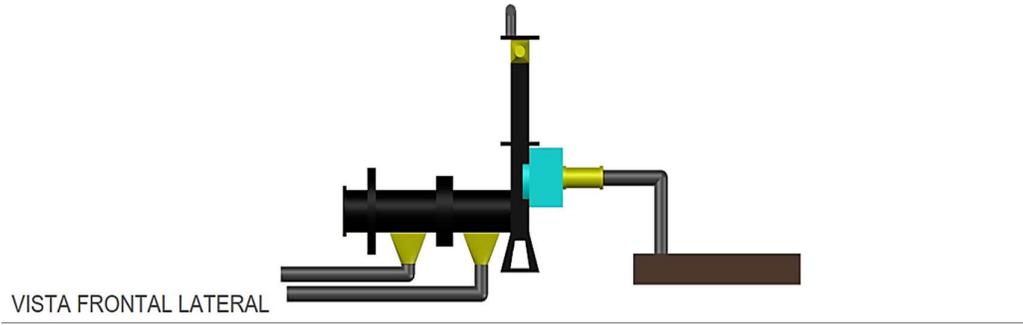
## SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PORCINOS EFICIENCIA DE AIREADORES CON UN SEPARADOR DE SÓLIDOS



	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA					
	FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS					
	INGENIERÍA AGROPECUARIA					
	SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES DERIVADOS DE UNA GRANJA PORCINA COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA EL MEJORAMIENTO DEL PURÍN CON FINES AGRONÓMICOS					
DIBUJO:	ERIKA KATHERINE PANCHANA PARRA ODALYS NATASHA CASTILLO SALAZAR		APROBADO POR:	ING. MERCEDES SANTIS TEVAN ING. MIGUEL LEMA CARRERA		
ESCALA:	INDICADA	FECHA:	HOJA:	2	DE: 4	

**Figura 19.** Eficiencia de aireadores con un separador de sólidos.

## SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PORCINOS CON UN SEPARADOR DE SÓLIDOS

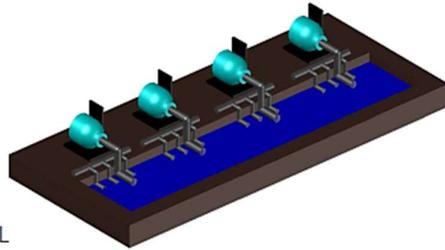


UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA					
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS					
INGENIERÍA AGROPECUARIA					
SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES DERIVADOS DE UNA GRANJA PORCINA COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA EL MEJORAMIENTO DEL PURÍN CON FINES AGRONÓMICOS					
DIBUJO:	ERIKA KATHERINE PANCHANA PARRA		APROBADO POR:		ING. MERCEDES SANTISTEVAN
	ODALYS NATASHA CASTILLO SALAZAR				ING. MIGUEL LEMA CARRERA
ESCALA:	INDICADA	FECHA:	HOJA:	3	DE: 4

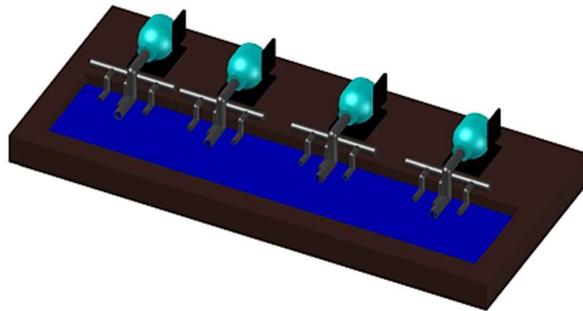


**Figura 20.** Sistema de tratamiento de efluentes porcinos mediante un separador de sólidos.

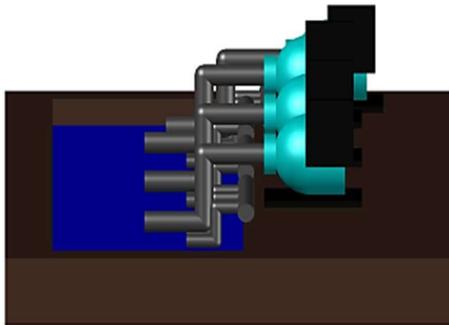
## SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PORCINOS EFICIENCIA DE AIREADORES



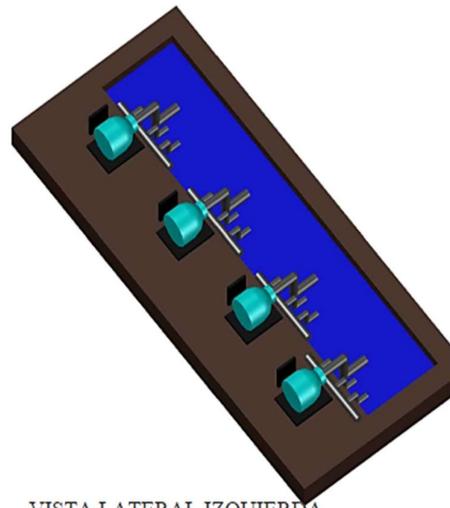
VISTA FRONTAL LATERAL



VISTA PLANTA



VISTA LATERAL DERECHA



VISTA LATERAL IZQUIERDA



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA					
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS					
INGENIERIA AGROPECUARIA					
SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES DERIVADOS DE UNA GRANJA PORCINA COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA EL MEJORAMIENTO DEL PURÍN CON FINES AGRONÓMICOS					
DIBUJO:	ERIKA KATHIERNE PANCHANA PARRA		APROBADO POR:	ING. MERCEDES SANTISTEVAN	
	ODALYS NATASHA CASTILLO SALAZAR			ING. MIGUEL LEMA CARRERA	
ESCALA:	INDICADA	FECHA:	HOJA:	4	DE: 4



**Figura 21.** Sistema de tratamiento de efluentes porcinos mediante aireadores.

### 3.2.17 Valoración agronómica de los efluentes porcinos aplicados

En la Tabla 43, se detalla el contenido de macronutrientes de un efluente sin tratar y del efluente previamente tratado mediante el 6% de dosificación de microorganismos eficientes y bajo tiempos de aireación de 12 días prolongados, de tal manera que, el efluente utilizado en la primera fase de esta investigación se encuentra compuesto de: 94.33 ppm de N, 72 ppm de P y 1304 ppm K. De tal manera que, para conocer la valoración agronómica del efluente aplicado obtenemos la diferencia entre los macronutrientes de la muestra testigo y la muestra tratada.

**Tabla 43.** Análisis de macronutrientes del efluente aplicado.

<b>Análisis de macronutrientes (ppm o mg/L)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Nitrógeno</b>	<b>Fósforo</b>	<b>Potasio</b>
Muestra Testigo	86.79	100	1087
12 días + 6% de ATP	94.33	72	1304
Diferencias de aportes de nutrientes	7.54	-28	217

Se detallan en la Tabla 44, los fertilizantes que son de interés dentro del estudio, para esto se dispone de los porcentajes de eficiencia del N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O; relacionando el precio por kilogramo de fertilizante.

**Tabla 44.** Porcentaje de eficiencia de los fertilizantes de interés.

<b>Fertilizantes</b>	<b>\$</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
Nitrato de amonio (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	0.33	34%		
Ácido fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	1.18		85%	
Sulfato de potasio (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0.71			50%

De tal manera que, en 1 kg de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, el 34% de N representa a 0.34 kg de N, el mismo que tiene un valor de 0.33 ctvs., por lo tanto, 1 kg N, tiene un valor de 0.97 ctvs. De la misma manera se realizó el mismo procedimiento para obtener la relación costo/fertilizante de cada uno de los macronutrientes, como se lo detalla en la Tabla 45.

**Tabla 45.** Relación Costo/Fertilizante.

Contenido		Relación Costo/Fertilizante
kg/Nitrógeno (N)	0.34	\$ 0.97
kg/Fósforo (P)	0.85	\$ 1.39
kg/ Potasio (K)	0.5	\$ 1.42

Para los siguientes procedimientos se toma como referencia, las diferencias entre los macronutrientes de la muestra testigo y la muestra tratada, en este caso, se tomó como ejemplo, la diferencia del N, cuyo resultado es de 7.54 mg/L, de los cuales, se lo relaciona con el volumen del efluente diario que es 14.36 m<sup>3</sup>/día, teniendo como resultado 0.11 Kg de N, la misma relación se emplea para los demás macronutrientes, los resultados se los detalla en la Tabla 46.

**Tabla 46.** Aporte de nutrientes en el efluente tratado

Efluente diario (m3)	Macronutrientes	Aporte (g)	Aporte (Kg)
14.36	Nitrógeno (N)	108.2744	0.11
	Fósforo (P)	402.08	0.40
	Potasio (K)	3116.12	3.12

En la Tabla 47, se detalla el contenido de macronutrientes en el efluente tratado, resultados que estuvieron relacionados con el componente costo/fertilizante, obteniendo como resultado un costo diario de cada uno de los macronutrientes.

**Tabla 47.** Costo total por macronutriente en el efluente (diario).

Macronutrientes	Aporte (kg)	Relación Costo/Fertilizante	Costo diario
Nitrógeno (N)	0.108	\$ 0.97	\$ 0.11
Fósforo (P)	0.402	\$ 1.39	\$ - 0.56
Potasio (K)	3.116	\$ 1.42	\$ 4.42

El efluente como fertilizante orgánico genera una ganancia diaria \$ 3.97; de tal manera que al año representa una ganancia total de \$ 1449.71; la misma que prevista en 5 años, aporta un total de \$ 7248.53; resultados que se muestran en la Tabla 48.

**Tabla 48.** Ganancias diarias y anuales.

<b>Macronutrientes</b>	<b>Costo diario</b>
Nitrógeno (N)	0.11
Fósforo (P)	- 0.56
Potasio (K)	4.42
Total	3.97
Total/año	1449.71
Total/5años	7248.53

**Tabla 49.** Resumen de los resultados obtenidos de la valoración agronómica del efluente.

<b>Macro-nutrientes</b>	<b>Diferencia de aporte de nutrientes</b>	<b>Aporte (g)</b>	<b>Aporte de (kg)</b>	<b>Costo total</b>
Nitrógeno (N)	7.54	108.27	0.11	\$ 0.11
Fósforo (P)	28	402.08	0.40	\$ 0.56
Potasio (K)	217	3116.12	3.12	\$ 4.42
Valor agronómico del efluente por 5 años				\$ 7248.53

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Las propuestas más eficientes y económicamente viables para la empresa, se encuentran proyectadas mediante la viabilidad de dos sistemas: la eficiencia de un sistema que funcione mediante el uso de cuatro aireadores en piscina o que este mismo sistema actúe en conjunto con un separador de sólidos, alternativas que se encuentran estructuradas en base a diferentes estimaciones y presupuestos que parten de una base de datos proporcionados por la empresa, considerando de mayor interés la reducción de costos por puntos de DBO<sub>5</sub> (Demanda biológica de oxígeno) y DQO (Demanda química de oxígeno).

El sistema más eficiente para el tratamiento de efluentes porcinos mediante la interacción de aireadores mecánicos, permitirá a través de 4 equipos, reducir un total de 1018.43 en puntos en DBO<sub>5</sub> y 1162.47 en puntos en DQO; cada punto de DBO<sub>5</sub> con un costo de \$ 45.13 y cada punto de DQO con un costo de \$ 39.54, que en comparación con las demás alternativas permitirá el declive más alto en puntos al menor costo posible, en este caso, la propuesta más eficiente pronosticada al tiempo de 5 años se lo obtiene bajo un presupuesto de \$ 45 961.15; este sistema gestionará de manera más eficiente e integral los efluentes generados de las distintas fases productivas que se manejan en granja.

Dadas las diferentes alternativas propuestas, cuando el sistema interactúa en conjunto con un separador de sólidos, es eficiente cuando permitirá reducir un total de 1183.85 en puntos de DBO<sub>5</sub> y 1419.11 en puntos de DQO; cada punto de DBO<sub>5</sub> con un costo de \$ 53.80 y cada punto de DQO con un costo de \$ 44.88, proyecto pronosticado en un tiempo de 5 años bajo una inversión de \$ 84 672.00, con el que se obtiene la mayor reducción de puntos a un mínimo costo, la diferencia de este sistema, también conlleva a la reducción de capital invertido en construcción, mantenimiento, operación y reparación de piscinas; al mismo tiempo que; mediante la implementación de esta nueva tecnología, se gestionará de mejor manera no solo los efluentes del sistema lagunar, sino también la cantidad de residuos sólidos que se genera del sistema productivo en la crianza de cerdos.

Durante las etapas de crecimiento del cultivo de maíz híbrido, se logró determinar que las aplicaciones en distintas concentraciones diluidas de purines porcinos muestran respuestas favorables en relación a las variables: altura de planta, diámetro de tallo, longitud de hoja, número de hojas, longitud de la raíz y peso fresco de la planta; denotando diferencias entre los tratamientos a partir de los 12 días después de siembra hasta la etapa de finalización del ensayo (36 dds), obteniendo mejores resultados en plantas bajo concentraciones del 2% y 4%.

El efluente porcino previamente tratado actúa como un fertilizante orgánico en el cultivo de maíz, esto es debido al contenido de macronutrientes que contiene, de tal manera que, es capaz de generar económicamente beneficios en el ahorro de fertilizantes minerales; con una utilidad diaria de \$ 3.97, una utilidad anual de \$ 1449.71 y durante el tiempo previsto del proyecto que es de 5 años, se obtendría una utilidad total de \$ 7248.53.

## **Recomendaciones**

Proponer nuevas alternativas que permitan recuperar y gestionar eficientemente los efluentes o purines generados de los sistemas de explotación porcina.

Mejorar la calidad de los efluentes o purines destinados a la agricultura a través de investigaciones que tengan como objetivo reducir costos de implementación en la aplicación de nuevos sistemas, modelos o tecnologías eficientes.

Desarrollar buenas prácticas agrícolas en la reutilización y aprovechamiento de purines, empleando estratégicamente mejores técnicas de reciclaje.

Conocer el comportamiento, manejo y aplicación del purín según las condiciones edafoclimáticas de cada zona de estudio con el fin de tomar medidas precisas que ayuden a reajustar los planes de fertilización.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGEARTH (2020) 'Microorganismos Activos Agro Total Pack'. AGEARTH.
- AGRIPAC (2020) *Maíz híbrido variedad Copa SV 3243*.
- Alvario Castro, H. I. and Gordillo Vanegas, M. D. (2015) *Evaluación físicoquímica y microbiológica de la calidad del agua de los pozos, ubicados en el sector de la ciudadela 5 de junio de San Juan de Pueblo Viejo - Los Ríos, año 2015*. Available at: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8917> (Accessed: 16 June 2021).
- Amy, G. *et al.* (2017) *Tratamiento biológico de aguas residuales. Principios, modelación y diseño*. Primera. London, UK.: IWA Publishing.
- Babot, D. *et al.* (2013) 'Influencia de la época del año y de la fase productiva sobre el volumen y composición de los purines de cerdos', (I), p. 3.
- Badillo Herrera, A. E. and Arévalo Camacho, J. E. (2016) *Evaluación del aporte de gallinaza fresca en el rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays) variedad Iniap 122, en dosis diferentes, en la parroquia Malchinguí, cantón Pedro Moncayo, provincia Pichincha*. Proyecto de titulación. Universidad Nacional de Loja. Available at: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10735/1/INFORME%20FINAL%20DE%20TESIS%20MAIZ%20%2012-01-2016.pdf>.
- Bermeo Garay, M. M. (2016) *Tratamiento de aguas residuales: Técnicas convencionales*. Segunda edición. Guaranda, Ecuador.
- Beyli, M. E. *et al.* (2012) 'Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar', p. 277.
- Cárdenas Murillo, J. G. (2012) *Modelación dinámica de las lagunas de oxidación de la ciudad de Portoviejo*. Maestría de Ingeniería Ambiental. Universidad De Guayaquil. Available at:

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1697/1/Tesis%20final%20para%20su%20stentacion11240jl.pdf> (Accessed: 18 June 2021).

- Castiblanco Poveda, M. C. and Díaz Villalba, J. F. (2017) *Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas para el sector El Palmar municipio de Flandes – Tolima*. Tesis. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Available at: <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/6691> (Accessed: 16 June 2021).
- Ceja De La Cruz, Z. T. and Rentería Rodríguez, M. E. (2019) ‘Tratamiento de aguas residuales’, *INCyTU*. Available at: [https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU\\_19-028.pdf](https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf) (Accessed: 17 February 2021).
- Chanataxi Gualotuña, M. C. and Pumisacho Gualoto, M. (2016) *Respuesta del cultivo de maíz dulce var. Bandit a la aplicación de calcio, boro y azufre bajo invernadero*. Universidad Central del Ecuador. Available at: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7945/1/T-UCE-0004-10.pdf> (Accessed: 15 February 2021).
- Cuevas, J. J. (2015) *Puesta en marcha de reactor biológico anaerobio para tratamiento de efluentes de granjas*. Trabajo Final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia. Available at: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56254/CUEVAS%20-%20PUESTA%20EN%20MARCHA%20DE%20REACTOR%20BIOL%C3%93GICO%20ANAEROBIO%20PARA%20TRATAMIENTO%20DE%20EFLUENTES%20DE%20GRANJAS.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (Accessed: 16 June 2021).
- Del Castillo Pérez, S. V. *et al.* (2012) *Manual de Buenas Prácticas de Producción Porcina. Lineamientos generales para el pequeño y mediano productor de cerdos*. Red Porcina Iberoamericana. Available at: [http://200.23.35.7/archivos/productos/vinculacion/librosdivulgacion/300700005\\_1.pdf](http://200.23.35.7/archivos/productos/vinculacion/librosdivulgacion/300700005_1.pdf) (Accessed: 15 June 2021).

- Deras Flores, H. R. and Serrano, R. F. (2018) *Guía Técnica: Cultivo de maíz (Zea mays L.)*. El Salvador. Available at: [http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa\\_Ma%C3%ADz%202019.pdf](http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Ma%C3%ADz%202019.pdf) (Accessed: 14 February 2021).
- FAO (2004) *Los fertilizantes y su uso*. Available at: <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>.
- FAO (2008) *Estudio mundial sobre buenas prácticas de los servicios de extensión y asesoramiento agropecuarios en el mundo*. Roma. Available at: <http://www.fao.org/uploads/media/a-i0261s.pdf> (Accessed: 18 October 2020).
- Freitas, W. da S. *et al.* (2004) 'Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem', *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8, pp. 120–125. doi: 10.1590/S1415-43662004000100018.
- Garzón Zúñiga, M. A. (2001) *Mécanismes d'enlèvement de l'azote du lisier de porc par biofiltration aérée sur tourbe*. Tesis de Doctorado, Département du génie civil. Université Laval. Available at: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/6Remociondenitrogenoyfosforo2.pdf> (Accessed: 2 August 2021).
- Gómez Garrido, M. (2014) *Efectos ambientales de la valorización agronómica de purines de ganado porcino: dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-agua-planta*. <http://purl.org/dc/dc/mitype/Text>. Universidad Politécnica de Cartagena. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=61864> (Accessed: 16 February 2021).
- Gordillo Q., M. I. (2016) *Impactos de la producción porcina en la calidad ambiental del cantón Las Lajas, provincia de El Oro*. Universidad Técnica de Ambato. Available at: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/22899/1/MARCO%20GORDILLO%202.pdf> (Accessed: 15 June 2021).

- Hermes, E. *et al.* (2012) 'Soybean growth irrigated with swine wastewater.', *Energy, biomass and biological residues. International Conference of Agricultural Engineering - CIGR-AgEng 2012: Agriculture and Engineering for a Healthier Life, Valencia, Spain, 8-12 July 2012.* Available at: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133222991> (Accessed: 16 July 2021).
- Iguácel Soteras, F. *et al.* (2010) *Fertilización con purín en doble cultivo anual, en mínimo laboreo y riego por aspersión.* España, p. 12. Available at: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/31120/1/YagueRM\\_InfTecn\\_2010b.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/31120/1/YagueRM_InfTecn_2010b.pdf) (Accessed: 14 February 2021).
- Irañeta, I., Abaigar, A. and Santos, Á. (2002) *Purín porcino. ¿Fertilizante o Contaminante?* Lima: Navarra Agraria.
- Izquierdo Bonilla, R. A. (2012) *Evaluación del cultivo de maíz (Zea mays), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento, Cayambe, Ecuador.* Universidad Técnica Salesiana Sede Quito. Available at: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1832/15/UPS-YT00102.pdf>.
- Lobera Lössel, J. B. (2015) *Tratamiento integral de purines del cerdo.* Murcia, España. Available at: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:MVi6QdC1\\_UYJ:www.carm.es/web/integra.servlets.BlobNoContenido%3FIDCONTENIDO%3D17660%26TABLA%3DPUBLICACIONES\\_TEXTO%26IDTIPO%3D246%26RASTR0%3Dc2889%24m58245,58256,58865%26CAMPOCLAVE%3DIDTEXTO%26VALORCLAVE%3D12649%26CAMPOIMAGEN%3DTEXTO%26ARCHIVO%3DTexto%2BCompleto%2B1%2BTratamiento%2Bintegral%2Bde%2Bpurines%2Bdel%2Bcerdo.pdf+%&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:MVi6QdC1_UYJ:www.carm.es/web/integra.servlets.BlobNoContenido%3FIDCONTENIDO%3D17660%26TABLA%3DPUBLICACIONES_TEXTO%26IDTIPO%3D246%26RASTR0%3Dc2889%24m58245,58256,58865%26CAMPOCLAVE%3DIDTEXTO%26VALORCLAVE%3D12649%26CAMPOIMAGEN%3DTEXTO%26ARCHIVO%3DTexto%2BCompleto%2B1%2BTratamiento%2Bintegral%2Bde%2Bpurines%2Bdel%2Bcerdo.pdf+%&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec) (Accessed: 13 February 2021).
- López, J. (2011) *Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales.* Tesis de grado. Universidad San Francisco de Quito. Available at:

<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/750/1/98208.pdf> (Accessed: 17 February 2021).

- MacRobert, J. F. *et al.* (2015) *Manual de producción de semilla de maíz híbrido*. México: CIMMYT. Available at: <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/16849/57179.pdf> (Accessed: 16 June 2021).
- Maisonnave, R. and Lamelas, K. (2013) *Buenas prácticas de manejo y utilización de efluentes porcinos*. Argentina: Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación. Available at: [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/prensa/folletos\\_digitaes/contenido/Manual\\_Porcino.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/prensa/folletos_digitaes/contenido/Manual_Porcino.pdf) (Accessed: 16 June 2021).
- 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: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/175505/Evaluacion-de-impactos-ambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Medeiros, S. de S. *et al.* (2015) 'POTENCIAL HÍDRICO-NUTRICIONAL DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NA IRRIGAÇÃO DO ALGODOEIRO CULTIVADO EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS', *IRRIGA*, 20(2), pp. 248–260. doi: 10.15809/irriga.2015v20n2p248.
- Merchán Peñafiel, J. F. (2018) *Evaluación y propuesta de mejora de la planta de tratamiento de agua residuales domésticas de la urbanización Fuentes Del Río, cantón Daule*. Universidad De Guayaquil. Available at: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/32694/1/MERCH%C3%81N\\_FERNANDO\\_TRABAJO\\_TITULACI%C3%93N\\_SANITARIA\\_ENERO\\_2018.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/32694/1/MERCH%C3%81N_FERNANDO_TRABAJO_TITULACI%C3%93N_SANITARIA_ENERO_2018.pdf).
- Millares, P. (2011) 'Manejo de Efluentes Porcinos - [PDF Document]'. Argentina. Available at: <https://fddocuments.ec/document/manejo-de-efluentes-porcinos.html> (Accessed: 16 June 2021).

- Moraga, F. and Rodrigo, H. (2012) ‘Herramientas de gestión ambiental para la utilización de purines como bio-fertilizantes.’ Available at: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/752> (Accessed: 31 July 2021).
- Moreira Arcentales, E. *et al.* (2020) *Estudio de Impacto Ambiental Ex Post Proyecto, Obra o Actividad Ecuapork Zapotal*. Zapotal, Santa Elena.
- Moret Chiappe, I. (2014) *Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrófitas*. Posgrado. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Available at: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1753/ICI\\_196.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1753/ICI_196.pdf?sequence=3&isAllowed=y).
- Oñate Zúñiga, L. A. and Gutiérrez, A. (2016) *Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (Zea mays) var. Blanco harinoso criollo, bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos*. Universidad Técnica de Ambato. Available at: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18305/1/Tesis-116%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20371.pdf>.
- Orrala Soriano, R. M. (2017) *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante la aplicación de tecnología de biorreactores de lecho móvil (proceso MBBR), para minimizar el impacto ambiental en la ciudadela La Milina, del cantón Salinas, provincia de Santa Elena, año 2017*. Trabajo de titulación. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Available at: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ADVmcEXF1jEJ:https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/3982/1/UPSE-TII-2017-070.pdf+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec> (Accessed: 17 February 2021).
- Pedrique De Aulacio, M. and De Castro, N. (2008) *Reproducción y crecimiento microbiano: Crecimiento individual y crecimiento de poblaciones. Matemática del crecimiento microbiano. Fases de la curva de crecimiento de microorganismos. Métodos para la estimación del crecimiento microbiano*. Cátedra de Microbiología. Facultad de Farmacia. Available at:

[http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_farmacia/catedraMicro/08\\_Tema\\_6\\_crecimiento.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/08_Tema_6_crecimiento.pdf) (Accessed: 2 August 2021).

- Pomares García, F. (2002) ‘Aprovechamiento de los purines del porcino como fertilizante’, p. 7.
- Portero Pesantes, M. B. and Amat Marchán, V. A. (2017) *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Babahoyo*. Trabajo de titulación. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Sarango, P. J. D. *et al.* (2018) ‘Modelamiento del tratamiento biológico de aguas residuales; estudio en planta piloto de contactores biológicos rotatorios. //Modeling of biological wastewater treatment; study in pilot plant of rotating biological contactors.’, *CIENCIA UNEMI*, 11(28), pp. 88–96. doi: 10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp88-96p.
- Silvestre, P. and Stich, W. (2021) *Respuesta del híbrido de maíz Zea mays, Pioneer 3041, a la aplicación de fertilizantes complejos en Rio Verde, Santa Elena*. Trabajo de titulación. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5695> (Accessed: 16 June 2021).
- Tamayo Borja, L. F. and Valdivieso Freire, E. (2014) *Efecto de la aplicación de cinco dosis de fitohormona con dos niveles de fertilización en la productividad de maíz*. Universidad De Guayaquil. Available at: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/6641/1/TAMAYOBorjaLUIS.pdf> (Accessed: 16 February 2021).
- Teixeira Correia, G. *et al.* (2013) ‘Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna’, June, pp. 172–182.
- Toaingá Toaingá, Á. P. (2016) ‘Diseño de un plan de manejo ambiental en la granja porcina “El Rosario” de la provincia de Tungurahua’. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Available at: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5374/1/17T1403.pdf>.

- UNESCO (2017) *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017: Aguas residuales. El Recurso Desaprovechado*. París, Francia: UNESCO. Available at: [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).
- UNESCO (2019) *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París, Francia: UN (Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos). doi: 10.18356/e96937a1-es.
- Vicari, M. P. (2012) *Efluentes en producción porcina en Argentina: Generación, impacto ambiental y posibles tratamientos*. Trabajo de titulación. Pontificia Universidad Católica Argentina. Available at: <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/319/1/doc.pdf>.
- Yagüe Carrasco, M. R. and Iguácel Soteras, F. (2015) *Fertilización con purín porcino en fondo y cobertera en cereal de secano*. 257. Gobierno de Aragón, España, p. 12. Available at: [https://citarea.citaraaron.es/citarea/bitstream/10532/2989/1/2015\\_171.pdf](https://citarea.citaraaron.es/citarea/bitstream/10532/2989/1/2015_171.pdf) (Accessed: 16 June 2021).
- Zambrano Madranda, L. A. and Quijije Rendón, M. K. (2019) *Análisis económico del rendimiento de los híbridos de maíz INHIAP H-551 y Trueno NB 7443 mediante sistemas de labranza convencional y mínima y su impacto ambiental en el cantón Mocache*. Proyecto de investigación. Universidad Técnica Estatal De Quevedo. Available at: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3616/1/T-UTEQ-0049.pdf>.

## ANEXOS

### Anexo 1. Fotografías de las actividades realizadas en campo.



*Figura 1A.* Preparación del terreno previo a la siembra.



*Figura 2A.* Instalación del sistema de riego.



**Figura 3A.** Riegos alternados para alcanzar la humedad necesaria previo a la siembra.



**Figura 4A.** Evaluación del porcentaje de germinación a los 5 días después de siembra.



**Figura 5A.** Aplicación foliar del efluente porcino tratado en el cultivo de maíz.



**Figura 6A.** Toma de datos a los 6 días después de siembra.



**Figura 7A.** Toma de datos de raíz a los 4 días después de siembra.



**Figura 8A.** Toma de datos a los 15 días después de siembra.



*Figura 9A.* Última toma de datos a los 36 días después de siembra.



*Figura 10A.* Última toma de raíz a los 36 días después de siembra.



**Figura 11A.** Medición del área de la laguna de oxidación de sitio 1 (S1).



**Figura 12A:** Recolección de muestra de efluente porcinos para análisis N-P-K.



**Figura 13A.** Limpieza y desinfección de materiales previo al envío de muestras al laboratorio.



**Figura 14A.** Envasado de botellas con el efluente tratado y rotulación de muestra para el análisis de N-P-K.

**Anexo 2.** Cronograma de actividades del ensayo experimental (Fase A).

<b>Fecha</b>	<b>Evaluación del cultivo (días)</b>	<b>Descripción de actividades</b>
15-abr-21		Preparación del terreno previo a la siembra.
16-abr-21		
17-abr-21		Riegos alternados hasta alcanzar la humedad necesaria para la siembra.
18-abr-21		
18-abr-21		Delineamiento del área experimental e instalación de líneas de riego.
19-abr-21		Siembra manual con el método de espeque.
20-21/4/2021	1 - 2 dds	Monitoreo del ensayo mediante labores adecuadas.
22-abr-21	3 dds	Primeras aplicaciones del purín.
23-abr-21	4 dds	Primera toma de datos evaluando la longitud radicular de las plantas (5 plantas/tratamiento)
24-abr-21	5 dds	Primera toma de datos evaluando el porcentaje de germinación (%G).
25-abr-21	6 dds	Segundas aplicaciones del purín y primera toma de datos evaluando las siguientes variables en estudio: Ap, Nh, Lh y Dt (10 plantas/unidad experimental).
26-27/abr-21	8 dds	Segunda toma de datos evaluando la longitud radicular (5 plantas/tratamiento).
28-abr-21	9 dds	Terceras aplicaciones del purín y segunda toma de datos considerando las mismas variables medidas a los 6 dds (10 plantas/unidad experimental).
29-30/4/2021	10 - 11 dds	Monitoreo del ensayo mediante labores adecuadas y segunda toma de datos evaluando el porcentaje de germinación (%G).

1-may-21	12 dds	Aplicaciones del purín y tercera toma de datos evaluando la fenología de 10 plantas/unidad experimental. Variables: Ap, Nh, Lh, Dt y Lr.
2-3/5/2021	13 dds	Monitoreo y evaluación del área experimental.
4-may-21	15 dds	Aplicaciones foliares del purín y cuarta toma de datos considerando las mismas variables valoradas a los 6 y 9 dds (10 plantas/unidad experimental).
5-7/5/2021	16 - 18 dds	Monitoreo del ensayo mediante labores adecuadas.
8-may-21	19 dds	Aplicaciones foliares del efluente tratado (5ta aplicación).
9-11/5/2021	20 - 22 dds	Monitoreo y evaluación del área experimental.
12-may-21	23 dds	Aplicaciones foliares del efluente tratado (6ta aplicación).
13-may-21	24 dds	Tercera toma de datos evaluando la variable longitud de raíz (5 plantas/tratamiento).
14-15/5/2021	25 y 26 dds	Monitoreo del ensayo mediante labores adecuadas.
16-may-21	27 dds	Quinta toma de datos evaluando 10 plantas/tratamiento y aplicaciones foliares del efluente tratado (7ma aplicación). Variables: Lp, Nh, Lh y Dt.
17-20/5/2021	28 dds	Monitoreo y evaluación del área experimental.
21-may-21	32 dds	Aplicaciones foliares del efluente tratado (8ta aplicación).
22-24/5/2021	33 - 35 dds	Monitoreo y evaluación del área experimental.
25-may-21	36 dds	Última toma de datos de todas las variables Ap, Dt, Lh, Nh e incluyendo como variable el peso fresco de la planta a los 36 dds.

---

**Anexo 3.** Análisis físico-químicos del efluente tratado mediante aireación (12 días) e inclusión del 6% de microorganismos activos.



Informe Analítico: IA-21-LB-000210-01  
Lab-ID: GYE-21/1025

<b>Lugar de ejecución del ensayo:</b> AGRORUM S.A. (Asesoría Agroindustrial Ambiental) info@agrorum.net Cda. Kennedy Av. San Jorge # 205 y calle 2da. Oeste Guayaquil - Ecuador	<b>PORCINOS DEL ECUADOR ECUAPORK S.A</b> atn. Porcinos del Ecuador Ecuapork S.A gardenia.suarez@ecuapork.com.ec Recinto Las Mercedes Av. Principal S/N Zapotal - Ecuador
---	--

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		
<b>Matriz de la muestra:</b>	Agua Residual	<b>OTROS:</b> 12 días + 6 % ATP
<b>Descripción de la muestra:</b>	Agua Residual	
<b>Lote N°:</b>	—	

DATOS DEL MUESTREO	
<b>Fecha/Hora/Lugar de Muestreo:</b>	2021-03-23 15:30 Zapotal
<b>Muestreado por:</b>	—
<b>Norma Técnica de Muestreo:</b>	—

DATOS DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA EN LABORATORIO	
<b>Fecha de Recepción:</b>	2021-03-24
<b>Cantidad de muestra:</b>	~2 000 mL
<b>Tipo de envase:</b>	Botella Plástica
<b>Temperatura de Recepción:</b>	16,0 °C

<b>Fecha inicio:</b>	2021-03-24
<b>Fecha fin análisis:</b>	2021-04-01

RESULTADOS DE ANÁLISIS							
Parámetro	Unidad	Resultado	U (k=2)	LM*	LDL	Método de ensayo	Analizado
<b>Parámetros Fisicoquímicos</b>							
pH	—	8,91	0,37	—	—	T-LB-004, SM 4500 H+B	2021/03/24 IM
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	487,5	84,9	—	—	T-LB-002, SM 5210 B	2021/03/29 DS
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	>1 022,5	—	—	—	T-LB-006, SM 2540 D	2021/03/26 DS
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1 005	57,3	—	20,04	T-LB-001, HACH 8000 / SM 5220 D - Reflujo Cerrado	2021/03/24 IM
<b>Parámetros Microbiológicos</b>							
Coliformes Totales (*)	NMP/ 100 mL	160 000 000	—	—	1,8	T-LB-044, SM 9221 B	2021-03-29 MF
Mohos y levaduras (*)	UFC/ mL	4 500 000	—	—	10	T-LB-066 Referenciado a SM 9610 B	2021-04-01 MF

**OPINIONES E INTERPRETACIONES:**

**DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD:**

**Anexo 4.** Análisis de macronutrientes N-P-K de la muestra testigo extraída de la laguna de oxidación de Sitio 1 (S1).



**Informe Analítico: IA-21-AG-000842-02**  
 Este informe reemplaza al: IA-21-AG-000842-01  
 Lab-ID: GYE-21/1385 1 al 2

**PORCINOS DEL ECUADOR ECUAPORK S.A.**  
 attn. Ecuapork S.A.  
 gardenia.suarez@ecuapork.com.ec  
 Recinto Las Mercedes, Av. Principal S/N  
 Guayas - Ecuador

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		
<b>Matriz de la muestra:</b>	Agua Residual	<b>OTROS:</b>
<b>Descripción de la muestra:</b>	Agua Residual Testigo - Análisis NPK	
<b>Lote N°:</b>	Sitio 1	

DATOS DE MUESTREO	
<b>Fecha/Hora/Lugar de Muestreo:</b>	20/04/2021 13:30; Lugar: Zapotal
<b>Muestreado por:</b>	-----
<b>Norma Técnica de Muestreo:</b>	-----

DATOS DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	
<b>Fecha y Hora de Recepción:</b>	05/05/2021
<b>Cantidad de muestra:</b>	1 022 mL
<b>Tipo de envase:</b>	Envase plástico
<b>Temperatura de Recepción:</b>	-----

<b>Fecha inicio:</b>	05/05/2021
<b>Fecha fin análisis:</b>	11/05/2021

RESULTADOS DEL ANÁLISIS			
Parámetro	Unidad	Resultado	Método de ensayo
Nitrógeno Total **	mg/L	86,79	LAB-GYE-ME-41 Basado en AOAC 973.48 :21th 2019
Fósforo (P) *	mg/L	100,00	T-LB-052, Hach 10127, 8114, SM 4500 B-C
Potasio (K) *	mg/L	1 087	LAB-GYE-ME-69 Basado en Standard Method 3111B :23th 2017

**OPINIONES E INTERPRETACIONES:**

**DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD:**

**COMENTARIOS:** La muestra fue recibida sin preservación. Agrorum no se responsabiliza por los resultados.

**NOMENCLATURA:**  
 LOQ: Límite de Cuantificación  
 LOD: Límite de Detección  
 LMP: Límite Máximo Permitido

**Anexo 5.** Análisis de macronutrientes N-P-K de la muestra de 12 días y 6% de microorganismos activos.



**Informe Analítico: IA-21-AG-000843-02**

Este informe reemplaza al: IA-21-AG-000843-01

Lab-ID: GYE-21/1386 1 al 2

**PORCINOS DEL ECUADOR ECUAPORK S.A.**  
 atn. Ecuapork S.A.  
 gardenia.suarez@ecuapork.com.ec  
 Recinto Las Mercedes, Av. Principal S/N  
 Guayas - Ecuador

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		
<b>Matriz de la muestra:</b>	Agua Residual	<b>OTROS:</b>
<b>Descripción de la muestra:</b>	12 Días + 6% ATP Agua Residual	
<b>Lote N°:</b>	Sitio 1	

DATOS DE MUESTREO	
<b>Fecha/Hora/Lugar de Muestreo:</b>	20/04/2021 13:30; Lugar: Zapotal
<b>Muestreado por:</b>	-----
<b>Norma Técnica de Muestreo:</b>	-----

DATOS DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	
<b>Fecha y Hora de Recepción:</b>	05/05/2021
<b>Cantidad de muestra:</b>	971 mL
<b>Tipo de envase:</b>	Envase plástico
<b>Temperatura de Recepción:</b>	-----

<b>Fecha inicio:</b>	05/05/2021
<b>Fecha fin análisis:</b>	11/05/2021

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS**

Parámetro	Unidad	Resultado	Método de ensayo
Nitrógeno Total **	mg/L	94,33	LAB-GYE-ME-41 Basado en AOAC 973.48 :21th 2019
Fósforo (P) *	mg/L	72,00	T-LB-052, Hach 10127, 8114, SM 4500 B-C
Potasio (K) *	mg/L	1 304	LAB-GYE-ME-69 Basado en Standard Method 3111B :23th 2017

**OPINIONES E INTERPRETACIONES:**

**DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD:**

**COMENTARIOS:** La muestra fue recibida sin preservación. Agrorum no se responsabiliza por los resultados.

**NOMENCLATURA:**

LOQ: Límite de Cuantificación

LOD: Límite de Detección

LMP: Límite Máximo Permitido

**Anexo 6.** Levantamiento de información en granja (Sitio 1).

**Tabla 50.** Registro de animales en el área de maternidad.

<b>MATERNIDAD (3 sem/21 días)</b>			
<b>Bloques</b>	<b>Sala</b>	<b>Nº cerdas</b>	<b>Nº crías</b>
1	S1	17	211
	S2	6	76
	S3	18	236
	S4	17	230
	S5	17	0
2	S6	16	212
	S7	18	245
	S8	18	0
	S9	29	237
3	S10		
	S11	24	323
	S12		
Total		180	1770
Fase productiva		Hembras - Lactación	Lechón

**Tabla 51.** Registro de animales en el área de destete.

<b>DESTETE GDU</b>								
<b>Sala</b>	<b>Lote</b>	<b>Días</b>	<b>Semana</b>	<b>Peso</b>	<b>Nº</b>	<b>Total</b>	<b>Total</b>	<b>Etapas productiva</b>
1	8	66	10	30	12	25	65	25 -100 kg
	8				13			
	9	57	9	25,1	20	40		25 - 100 kg
9	20							
2	10	50	8	20,6	12	24	164	Lechón
	10				12			
	11	43	7	16,6	21	43		
	11				22			
3	12	34	5	10,6	20	39		
	12				19			
	13	27	4	8,3	18	58		
	14				40			
<b>Total</b>							<b>229</b>	

**Tabla 52.** Registro de animales en el área de engorde.

S <sub>i</sub>	Corral	Lote	Semana	Semana actual	Edad (semanas)	Edad (días)	Peso (kg)	Nº cerdas	Total	Fase
ENGORDE	C13	L7	7		10	70	29.9	32	47	20-40
	C12	L6	6		11	77	35.4	15		
	C12	L5	5		12	84	41.3	13		
	C11	L4	4		13	91	47.5	29	89	40-70
	C10	L3	3		14	98	54	31		
	C9	L2	2		15	105	60.5	11		
	C9	L1	1		16	112	67.3	5		
	C8	L52	52		17	119	74.1	21	82	70-100
	C7	L51	51	17	18	126	81	13		
	C7	L50	50		19	133	87	17		
	C6C5	L49	49		20	140	94.6	31	117	Hembras
	C6C4	L48	48		21	147	101.4	19		
	C5C4C3	L47	47		22	154	108	22		
	C3C2	L46	46		23	161	114,5	10		
	C2C1	L45	45		24	168	121	34		
	C1C16	L44	44		25	175	127.2	28		
	C15	L43	43		26	182	133.2	4		

**Tabla 53.** Registro de animales en el área de gestación.

<b>Galpón</b>	<b>Filas y Corrales</b>	<b>Hembras</b>	<b>Machos</b>
1	F1	89	2
	F2	91	1
	F3	91	1
	F4	58	
	C1	14	
	C2	11	
	C3	15	
	C1	18	
	C2	17	
	C3	25	
	C4	25	
	C5	24	
2	C6	24	
	C7	24	
	C8	23	
	C9	25	
	C10	12	
	C11	10	
	C12	10	
	C1	18	
	C2	19	
	C3	25	
	C4	18	
	C5	20	
3	C6	24	
	C7	19	
	C8	17	
	C9	19	
	C10	25	
	C11	26	
	<b>Total</b>	<b>836</b>	<b>4</b>

**Tabla 54.** Registro de animales en el área de pubertad.

Corral	Lote	Semana	Semana actual	Edad (semanas)	Edad (días)	Peso (kg)	Nºcerdas	Total
C2C11 C12	L43	43		26	182	133.2	26	
C2C11 C12	L42	42		27	189	139.1	16	
C1C11	L41	41		28	196	144.8	11	
C1	L40	40		29	203	>144.8	2	
C1	L38	38	17	31	217	>144.8	1	165 hembras
C1	L37	37		32	224	>144.8	2	
C3-C4 C5-10							67	
J1							10	
J2	L41 -	41 -		28-32	196 -	>144.8	10	
J3	L37	37			224	8	10	
J4							10	

**Tabla 52.** Curvas de crecimiento de acuerdo a la edad y peso del animal.

Días/ semanas de edad	Peso lbs (kg)	Ganancia diaria promedio lbs (gr)	Consumo alimento semanal lbs (kg)	Ganancia diaria promedio acumulada lbs (gr)/día	Consumo alimento acumulado lbs (kg)	Conversión de alimento acumulado
21/3	13.1(5.9)					
28/4	16.1(7.3)	0.42(190)	3.1(1.4)	0.42(190)	3(1.4)	1.05
35/5	20.9(9.5)	0.69(313)	5.8(2.6)	0.56(254)	9(4.0)	1.14
42/6	27.0(12.2)	0.87(394)	7.9(3.6)	0.66(299)	17(7.6)	1.21
49/7	34.0(15.4)	1.01(458)	9.9(4.5)	0.75(340)	27(12.1)	1.27
56/8	43.7(19.8)	1.37(621)	14.2(6.4)	0.87(394)	41(18.5)	1.33
63/9	54.5(24.7)	1.54(698)	17.1(7.8)	0.98(444)	58(26.3)	1.40
70/10	65.9(29.9)	1.63(738)	19.2(8.7)	1.08(489)	77(35.0)	1.46
77/11	78.2(35.4)	1.75(793)	22.4(10.1)	1.16(525)	100(45.1)	1.53
84/12	91.2(41.3)	1.86(843)	25.5(11.6)	1.24(562)	125(56.7)	1.60
91/13	104.9(47.5)	1.96(888)	28.6(12.9)	1.31(593)	154(69.6)	1.68
98/14	119.1(54.0)	2.02(915)	31.4(14.2)	1.37(621)	185(83.8)	1.75
105/15	133.6(60.5)	2.08(942)	33.9(15.4)	1.43(648)	219(99.2)	1.82
112/16	148.5(67.3)	2.13(965)	36.2(16.4)	1.49(675)	255(115.6)	1.88
119/17	163.6(74.1)	2.15(974)	38.2(17.3)	1.54(698)	293(132.9)	1.95
126/18	178.7(81.0)	2.16(978)	39.9(18.1)	1.58(716)	333(151.0)	2.01
133/19	193.8(87.8)	2.16(978)	41.4(18.8)	1.62(734)	375(169.8)	2.08
140/20	208.9(94.6)	2.15(974)	42.7(19.4)	1.65(747)	417(189.1)	2.13
147/21	223.8(101.4)	2.12(960)	43.8(19.8)	1.67(757)	461(208.9)	2.19
154/22	238.4(108.0)	2.10(951)	44.7(20.3)	1.70(770)	506(229.2)	2.25
161/23	252.8(114.5)	2.05(929)	45.5(20.6)	1.71(775)	551(249.8)	2.30
168/24	267.0(121.0)	2.02(915)	46.2(20.9)	1.73(784)	598(270.7)	2.35
175/25	280.7(127.2)	1.96(888)	46.7(21.2)	1.74(788)	644(291.9)	2.41
182/26	294.1(133.2)	1.91(865)	47.2(21.4)	1.74(788)	692(313.3)	2.46
189/27	307.0(139.1)	1.85(838)	47.6(21.6)	1.75(793)	739(334.8)	2.51
196/28	319.6(144.8)	1.80(815)	48.0(21.7)	1.75(793)	787(356.6)	2.57