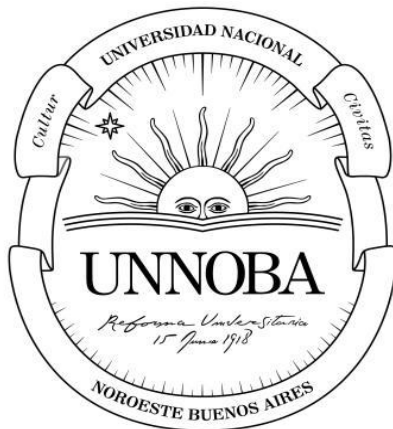


**Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**



**Título: Análisis de factibilidad de tratamiento anaeróbico en efluentes porcinos para reducción de la demanda química de oxígeno.**

**Carrera: Ingeniería Industrial**

**Práctica Profesional Supervisada**

**Estudiante: Moneta, Fernando Leonel.**

**Tutor Docente: Guerriero, Tomas.**

**Tutor de la organización: Busso, Mauricio.**

**Fecha de presentación: Abril 2025**

## Índice

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Índice de ilustraciones.....                                                                      | 4  |
| Índice de gráficos .....                                                                          | 4  |
| Índice de tablas .....                                                                            | 4  |
| Resumen general .....                                                                             | 5  |
| 1. Objetivos de la práctica profesional supervisada .....                                         | 7  |
| 1.1 Objetivos generales .....                                                                     | 7  |
| 1.2 Objetivos específicos .....                                                                   | 7  |
| 2. Introducción.....                                                                              | 8  |
| 2.1 Campo experimental “Las Magnolias” .....                                                      | 8  |
| 2.2 Laboratorio de Limnología y Ecología Microbiana .....                                         | 12 |
| 2.3 Cuestiones generales .....                                                                    | 13 |
| 2.4 Métodos de determinación de la DQO.....                                                       | 14 |
| 2.5 Ventajas del uso del método de DQO en el análisis de efluentes.....                           | 20 |
| 2.6 Relación entre los parámetros de DQO y DBO .....                                              | 20 |
| 3. Plan de trabajo y carga horaria .....                                                          | 22 |
| 4. Descripción de la Práctica Profesional Efectuada .....                                         | 26 |
| 4.1 Revisión de documento de trabajo en laboratorio, recolección de muestras y manipulación ..... | 26 |
| 4.2 Toma de muestras y determinación de valores de DQO.....                                       | 27 |
| 4.2.1 Frecuencia y replicabilidad .....                                                           | 27 |
| 4.2.2 Condiciones ambientales y operativas.....                                                   | 27 |
| 4.2.3 Resultados de los ensayos.....                                                              | 28 |
| 4.2.4 Tratamiento aeróbico.....                                                                   | 29 |
| 4.3 Análisis de resultados y eficiencia del proceso digestor .....                                | 31 |
| 4.3.1 Reducción de DQO .....                                                                      | 31 |
| 4.3.2 Evolución temporal .....                                                                    | 31 |

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.3 Análisis de la reducción porcentual .....                                       | 31        |
| 4.3.4 Condiciones operativas y fiabilidad.....                                        | 33        |
| 4.3.5 Conclusión del análisis de resultados y el uso de un tratamiento aeróbico ..... | 33        |
| <b>4.4 Conclusiones preliminares de los aspectos ambientales.....</b>                 | <b>34</b> |
| 4.4.1 Reducción de la contaminación por residuos orgánicos.....                       | 34        |
| 4.4.2 Valorización de subproductos.....                                               | 34        |
| 4.4.3 Disminución de olores y vectores de enfermedades .....                          | 35        |
| 4.4.4 Limitaciones y consideraciones.....                                             | 35        |
| 4.4.5 Análisis de sostenibilidad .....                                                | 36        |
| 4.4.6 Conclusión de los aspectos ambientales.....                                     | 37        |
| <b>4.5 Incorporación a la cadena de valor de producción porcina.....</b>              | <b>37</b> |
| 4.5.1 Descripción de la cadena de valor de la producción porcina.....                 | 37        |
| 4.5.2 Posibles puntos de inserción del biodigestor.....                               | 38        |
| 4.5.3 Impacto económico en la cadena de valor .....                                   | 38        |
| <b>5. Conclusiones.....</b>                                                           | <b>39</b> |
| <b>6. Bibliografía .....</b>                                                          | <b>41</b> |
| <b>7. Anexos.....</b>                                                                 | <b>44</b> |
| <b>8. Agradecimientos.....</b>                                                        | <b>45</b> |

## Índice de ilustraciones

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1 – Campo experimental “Las Magnolias” .....                       | 8  |
| Ilustración 2 – Sector con implementos relacionados a la energía sustentable . | 9  |
| Ilustración 3 – Biodigestor .....                                              | 10 |
| Ilustración 4 – Biodigestor .....                                              | 10 |
| Ilustración 5 – Biodigestor .....                                              | 11 |
| Ilustración 6 – Biodigestor .....                                              | 11 |
| Ilustración 7 – Biodigestor .....                                              | 12 |
| Ilustración 8 – Logo CITNOBA .....                                             | 13 |
| Ilustración 9 – Viales de medición de DQO .....                                | 17 |
| Ilustración 10 – Espectrofotómetro .....                                       | 18 |
| Ilustración 11 – Digestor/Reactor .....                                        | 18 |
| Ilustración 12 – Viales “vírgenes” .....                                       | 19 |
| Ilustración 13 – Viales identificados para su uso .....                        | 19 |

## Índice de gráficos

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 – Diagrama de Gantt de actividades de la PPS .....                    | 25 |
| Gráfico 2 – Evolución de eficiencia del biodigestor en el periodo.....          | 29 |
| Gráfico 3 – Variación porcentual relativa de la eficiencia del proceso digestor | 29 |

## Índice de tablas

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 – Listado de equipos y elementos utilizados.....                      | 17 |
| Tabla 2 – Variación porcentual de la reducción de DQO en las muestras .....   | 28 |
| Tabla 3 – Reducción porcentual del tratamiento anaeróbico, aeróbico y total.. | 30 |

## Resumen general

Este informe tiene como propósito documentar detalladamente la experiencia llevada a cabo para acreditar las Prácticas Profesionales Supervisadas<sup>1</sup>, el último requisito para la obtención del título de la carrera de grado en Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires<sup>2</sup>.

Estas prácticas se realizaron en la sede Eva Perón de la mencionada universidad, ubicada en la ciudad de Junín, Buenos Aires Argentina, específicamente en el Laboratorio de Limnología y Ecología Microbiana.

La experiencia abarcó parte de los meses de septiembre, octubre y noviembre del año 2023, y tuvo como uno de sus principales objetivos analizar el desempeño de un biodigestor mediante la medición de una variable de análisis general como es la demanda química de oxígeno.

A lo largo de un período de diez semanas y con muestras quincenales, se analizó la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica, obteniendo una reducción promedio de entre el 36% y el 42% en los niveles de DQO, lo que demuestra la viabilidad técnica y ambiental del biodigestor como una solución para el manejo de estos residuos. Además, se desarrolló, documentó y optimizó en sucesivas revisiones, un protocolo de trabajo en laboratorio, lo que permitió mejorar los procedimientos operativos y facilitar la capacitación del personal.

Los resultados sugieren que este sistema podría ser una herramienta clave en la transición hacia un modelo de producción más sostenible, mediante la valorización de subproductos del proceso digestor como biogás y biofertilizantes.

Este estudio propone, además, que futuras investigaciones profundicen en el análisis de los componentes químicos de otros elementos resultantes del tratamiento para evaluar su potencial subproductos, lo que abriría nuevas

---

<sup>1</sup> PPS

<sup>2</sup> UNNOBA

oportunidades para su integración en la cadena de valor de la producción porcina.

## 1. Objetivos de la práctica profesional supervisada

### 1.1 Objetivos generales

- I. Evaluar la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica en la reducción de la carga orgánica de los efluentes de un biodigestor alimentado con desechos porcinos, mediante el análisis de la demanda química de oxígeno, con el fin de determinar su viabilidad como solución sostenible y aceptable para estos desechos.
- II. Analizar el impacto del tratamiento de los efluentes en la cadena de valor del cerdo, considerando la sostenibilidad del proceso productivo para su integración en un esquema de economía circular

### 1.2 Objetivos específicos

- I. Determinar la carga orgánica inicial de los desechos porcinos, cuantificando la DQO de los residuos antes de ingresar al biodigestor para establecer una línea base de comparación.
- II. Analizar la eficiencia del biodigestor evaluando la reducción porcentual de la DQO luego del tratamiento anaeróbico, identificando el grado de degradación de la materia orgánica.
- III. Analizar los aspectos ambientales resultantes del tratamiento, estudiando cómo la reducción de la carga orgánica contribuye a disminuir la contaminación y a mejorar la gestión de residuos en el contexto de la cadena de valor del cerdo.
- IV. Analizar la viabilidad de usar en serie al proceso anaeróbico un método de digestión aeróbico para mejorar el parámetro estudiado y pulir el efluente final en términos de la DQO.
- V. Documentar en una nueva revisión el protocolo de trabajo para la determinación de DQO en el laboratorio, así como integrar las pautas para un correcto manejo y conservación de las muestras extraídas del biodigestor.

## 2. Introducción

### 2.1 Campo experimental “Las Magnolias”

El campo experimental “Las Magnolias”, perteneciente a la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, se encuentra a las afueras de la localidad de Junín, Buenos Aires.



*Ilustración 1 – Campo experimental “Las Magnolias”*

Este espacio tiene una superficie de 32 hectáreas y está diseñado para combinar actividades de docencia, investigación y extensión, entre sus proyectos destacados se encuentran los destinados a agricultura extensiva e intensiva, estudios de cultivos, manejo de plagas, y el uso de tecnologías agrícolas avanzadas como inoculantes microbianos. Además, el campo cuenta con un biodigestor que trabaja con desechos porcinos para producir biogás y biofertilizantes, y posee en desarrollo un criadero de cerdos de alta tecnología, con capacidad para 30 madres, que se utiliza tanto para prácticas académicas como para ensayos tecnológicos.

Entre sus instalaciones, también se incluyen espacios para la cría de animales, cultivos agrícolas y espacios donde se realizan actividades educativas para estudiantes y la comunidad, promoviendo la integración de conocimientos teóricos y prácticos en contextos reales de producción. La Granja Educativa, una iniciativa de articulación educativa en el mismo predio, permite a estudiantes de todos los niveles experimentar en actividades relacionadas con la huerta, el manejo de animales y tecnologías sostenibles.



*Ilustración 2 – Sector con implementos relacionados a la energía sustentable*

El tamaño del biodigestor es de aproximadamente  $48\text{ m}^3$  y está diseñado para gestionar los desechos de entre 300 y 400 cerdos. Este sistema tiene como objetivo demostrar la viabilidad del uso de tecnologías renovables en la región, no solo reduciendo la carga orgánica de los efluentes, sino también generando energía para consumo interno y materiales con un valor agregado útiles para el ciclo productivo de la cadena ya que se pueden usar como fertilizantes para la misma alimentación de los animales.



*Ilustración 3 – Biodigestor*



*Ilustración 4 – Biodigestor*



*Ilustración 5 – Biodigestor*



*Ilustración 6 – Biodigestor*



*Ilustración 7 – Biodigestor*

Todos los enfoques mencionados anteriormente promueven la economía circular y la sostenibilidad ambiental, conceptos que son parte de los objetivos educativos y de investigación de la UNNOBA.

## 2.2 Laboratorio de Limnología y Ecología Microbiana

El Laboratorio de Limnología y Ecología Microbiana de la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires se centra en el estudio de los ecosistemas acuáticos, enfocándose en la ecología microbiana y la calidad del agua en la región pampeana. Este laboratorio forma parte del Centro de Investigaciones y Transferencia del Noroeste de Buenos Aires<sup>3</sup>, una colaboración entre el CONICET<sup>4</sup>, UNNOBA y la UNSAdA<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> CITNOBA

<sup>4</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

<sup>5</sup> Universidad nacional de San Antonio de Areco.



*Ilustración 8 – Logo CITNOBA*

Cómo se mencionó, las investigaciones realizadas en este laboratorio se centran en el análisis de comunidades microbianas de diversas lagunas pampeanas afectadas por actividades antropogénicas, y tienen como objetivo comprender cómo las transformaciones ambientales influyen en la estructura de las comunidades planctónicas microbianas.

Por otro lado, se estudia la presencia y abundancia de bacterias potencialmente patógenas e indicadores de la calidad sanitaria del agua en sistemas lóticos (ríos y arroyos) y lénticos (lagunas) del noroeste de la provincia de Buenos Aires. Estos estudios son necesarios y esenciales en la evaluación de impacto de actividades humanas en la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos.

El laboratorio también contribuye al "Proyecto Argentino de Monitoreo y Prospección de Ambientes Acuáticos"<sup>6</sup>, una red que monitorea y evalúa la calidad de los cuerpos de agua en Argentina, quien a través de sus investigaciones proporciona información valiosa para la gestión y conservación de los recursos hídricos en la región.

### 2.3 Cuestiones generales

La demanda química de oxígeno es uno de los parámetros principales en la evaluación de la contaminación orgánica de aguas residuales, la misma representa la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la

---

<sup>6</sup> PAMPA II.

materia orgánica e inorgánica presente en una muestra de agua, lo cual proporciona una estimación indirecta de la carga de contaminantes en el líquido.

Aunque este análisis es amplia y comúnmente utilizado en las plantas de tratamientos de agua residuales urbanas, también es particularmente útil en el análisis de efluentes industriales y de biodigestores, para determinar como la digestión anaeróbica influye en el proceso.

Oxidar químicamente materia orgánica e inorgánica implica someter estos compuestos a una reacción donde pierden electrones y se descomponen. Para este análisis en particular, se hace uso de un químico suficientemente reactivo, el cual interactúa con las moléculas presentes en el agua (especialmente las orgánicas, como restos de alimentos, aceites y otros desechos) y las transforma en productos más simples, principalmente en dióxido de carbono y agua.

Durante esta reacción, se consume una cantidad definida de oxígeno (o su equivalente en el agente oxidante) para completar el proceso. A mayor concentración de material orgánico en el agua, mayor será el consumo de oxígeno necesario para su oxidación. Este consumo es proporcional a la carga de contaminantes presentes en la muestra, lo que convierte a la DQO en una herramienta eficaz para evaluar y monitorear la calidad de los efluentes, así como mantener el control sobre la eficiencia de procesos de digestión

## 2.4 Métodos de determinación de la DQO

Este parámetro se determina utilizando reactivos específicos, generalmente en un método estándar que involucra el uso de dicromato de potasio como agente oxidante de la materia orgánica, en un medio ácido en exceso como el ácido sulfúrico, y calor para facilitar la reacción. La cantidad de dicromato consumido se relaciona directamente con la cantidad de oxígeno equivalente a la demanda química. Este, ampliamente aceptado en normas internacionales como la Norma ISO 6060<sup>7</sup>, ofrece una precisión alta en la

---

<sup>7</sup> ISO 6060: Water quality — Determination of the chemical oxygen demand

medición de contaminantes orgánicos e inorgánicos en diversas aguas residuales.

Dicho método de determinación se conoce como método de titulación, ya que se trata de un método analítico que se utiliza para determinar la concentración de una sustancia desconocida de interés (llamada análisis) en una solución conocida (llamada titulante), hasta que se completa una reacción química.

Por otro lado, el método por espectrofotometría es ampliamente utilizado en diferentes industrias, ya que se trata de un procedimiento más rápido y que requiere una cantidad menor de reactivos que el método por titulación.

En esta técnica primero se prepara la muestra mezclando el agua con una solución de dicromato de potasio, un catalizador como el sulfato de plata y ácido sulfúrico concentrado, lo que asegura un entorno altamente oxidante, toda esta mezcla, para esta experiencia en particular ya se encontraba previamente preparada en un vial comercial. Posteriormente, la mezcla se somete a un proceso de digestión calentándola en un bloque digestor o un sistema de reflujo cerrado a altas temperaturas durante aproximadamente dos horas, permitiendo la oxidación completa de la materia orgánica presente en la muestra.

Finalmente, se mide el cambio de color de la solución resultante utilizando un espectrofotómetro a una longitud de onda específica, de generalmente entre 420 a 610 nm, y se compara con una muestra patrón, denominada "blanco" que no es más que todos los reactivos con un agregado de agua destilada que se toma como punto de referencia cero.

La variación de colores en los viales es un indicador cualitativo que también se puede tener en cuenta para un análisis rápido, aunque menos preciso que el cuantitativo, este cambio está relacionado con la concentración de materia orgánica en la muestra y el método colorimétrico utilizado, que generalmente, como se mencionó, emplea dicromato de potasio como agente oxidante. Químicamente, este cambio de color se debe a la reducción del ion dicromato

( $Cr_2O_7^{2-}$ ) a ion cromo ( $Cr^{3+}$ ) durante la oxidación de los compuestos orgánicos presentes en la muestra

En el caso de la muestra de referencia, conocida como "blanco", que no contiene materia orgánica, el color inicial es un anaranjado brillante, característico del dicromato de potasio en solución, y no presenta un cambio significativo al finalizar el análisis, manteniéndose en el mismo tono anaranjado ya que lo que se utiliza en el vial es agua destilada.

Para muestras con baja concentración de materia orgánica, la transición de color es mínima: el anaranjado brillante inicial puede convertirse en un amarillo pálido, lo que refleja una oxidación limitada y una baja conversión de dicromato a cromo.

En muestras con niveles moderados de materia orgánica, el anaranjado inicial evoluciona hacia una mezcla de tonos amarillos y verdes, indicando una conversión parcial del dicromato.

Por último, en muestras con alta concentración de materia orgánica, el anaranjado brillante se transforma en un verde intenso o completamente verde, lo que sugiere una conversión predominante del dicromato a cromo debido a la mayor cantidad de materia orgánica oxidada.

Este cambio de color es el resultado directo del consumo del agente oxidante y proporciona una indicación visual preliminar del nivel de DQO en la muestra. Sin embargo, la determinación precisa de este parámetro se realiza mediante la medición de la absorbancia de la muestra a una longitud de onda específica en un espectrofotómetro, lo que permite cuantificar con exactitud la concentración de materia orgánica presente. Este enfoque, además de ser visualmente informativo, facilita la comparación entre distintas muestras y condiciones de efluentes, aunque no es del todo exacto como el cuantitativo.

Resumidamente, como se mencionó, el cambio de color puede ser un indicador proporcional a la cantidad de oxígeno consumido como se puede observar en la siguiente imagen, aunque para este estudio en particular, la

valoración se hizo mediante el método explicado de espectrofotometría que es cuantitativo.



*Ilustración 9 – Viales de medición de DQO*

El método por espectrofotometría descripto anteriormente fue el utilizado durante la realización de esta práctica, ya que no solo es el más reproducible, si no que se contaban con los elementos necesarios que este requería. A continuación, se presentan los equipos utilizados durante la experiencia.

| Equipo            | Marca            | Modelo     |
|-------------------|------------------|------------|
| Viales            | IMPEC            | Rango Alto |
| Espectrofotómetro | Hanna Instrumets | HI 83399   |
| Reactor           | Hanna Instrumets | HI 839800  |

*Tabla 1 – Listado de equipos y elementos utilizados*

A continuación, se presentan imágenes de los equipos presentados anteriormente:



Ilustración 10 – Espectrofotómetro



Ilustración 11 – Digestor/Reactor



*Ilustración 12 – Viales “vírgenes”*



*Ilustración 13 – Viales identificados para su uso*

## 2.5 Ventajas del uso del método de DQO en el análisis de efluentes

La DQO, como parámetro de control en el tratamiento de aguas residuales, presenta ventajas significativas, entre ellas la rápida y confiable estimación de la cantidad de materia orgánica, a diferencia de otros métodos como la DBO<sup>8</sup>, que requiere un tiempo de incubación de cinco días. Por otro lado, el análisis de DQO es menos dependiente de la variabilidad biológica de las muestras y puede aplicarse en condiciones donde los efluentes presentan toxicidad que podría afectar a los organismos utilizados en las pruebas de DBO.

Como mencionan diferentes autores, el conocimiento del valor de DQO es crítico en sistemas de tratamiento de aguas residuales porque proporciona un indicador directo de la carga orgánica presente, en consecuencia, cuantifica la eficiencia de procesos de depuración de las plantas de tratamientos.

Según Rodríguez y Zapata (2023), este método es útil para la validación y monitoreo en plantas de tratamiento de aguas debido a su precisión y baja incertidumbre, mientras que Janeiro (2012) destaca su aplicabilidad en diversas matrices acuosas, incluyendo aguas residuales domésticas e industriales.

Durante este trabajo, se optó por medir la DQO en lugar de la DBO debido a la disponibilidad de recursos para realizar este último análisis, y considerando que los efluentes analizados son predominantemente orgánicos, se estableció y tomó una relación teórica presentada en diferente bibliografía, exhibida a continuación, entre DQO y DBO, permitiendo modelizar esta última a partir de un parámetro más accesible y fiable como la DQO, asegurando así la validez de los resultados obtenidos.

## 2.6 Relación entre los parámetros de DQO y DBO

La relación teórica entre la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno es dependiente de las características específicas del efluente y de los compuestos orgánicos presentes. En términos generales, esta

---

<sup>8</sup> Demanda biológica de oxígeno

relación se expresa como un cociente  $DBO/DQO$ , que indica la biodegradabilidad del agua residual.

Según fuentes bibliográficas consultadas y citadas para este apartado, a continuación, se tiene la justificación de la determinación del tipo de análisis y valores aceptables para los mismos:

- $DBO/DQO \approx 0.4$  a  $0.8$ : Para efluentes biodegradables, como los derivados de residuos agrícolas o ganaderos, este cociente típicamente varía entre  $0.4$  y  $0.8$ <sup>9</sup>.
  - Un valor cercano a  $1$  indica un efluente altamente biodegradable, mientras que valores más bajos sugieren una mayor presencia de compuestos no biodegradables<sup>10</sup>.
- En casos de efluentes mayoritariamente orgánicos, como los generados por la industria porcina, la relación  $DBO/DQO$  suele oscilar entre  $0.5$  y  $0.6$ <sup>11</sup>. Esto significa que aproximadamente el  $50 - 60\%$  de la materia orgánica medida como  $DQO$  es biodegradable en condiciones estándar.

Este enfoque es el comúnmente aceptado en estudios de aguas residuales cuando no se dispone de la infraestructura o tiempo necesario para realizar análisis directos de  $DBO$ <sup>12</sup> y por otro lado como en este caso particular no hay existencia de metales pesados en los efluentes a evaluar, se puede modelizar a ambos parámetros como iguales.

---

<sup>9</sup> Sawyer, McCarty & Parkin, 2003; APHA, 2022

<sup>10</sup> Metcalf & Eddy, 2013

<sup>11</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021; APHA, 2022.

<sup>12</sup> Sawyer, McCarty & Parkin, 2003

### 3. Plan de trabajo y carga horaria

La práctica profesional supervisada se vinculó al siguiente plan de trabajo, diseñado para estructurar y organizar las actividades necesarias en el laboratorio y tiempos de los involucrados durante su desarrollo:

1. Fase de preparación.

- a. Objetivos: Establecer el marco teórico y necesidades logísticas para el proyecto.
- b. Actividades:
  - i. Revisión bibliográfica sobre la DQO, el análisis espectrofotométrico, biodigestores y economía circular en la cadena de valor del cerdo.
  - ii. Determinación de materiales necesarios para las pruebas de DQO (reactivos, equipo de espectrofotometría, equipo de laboratorio para toma de muestras), así como la disponibilidad del equipo de laboratorio y coordinación con el personal del campo experimental donde se extraen las muestras.
  - iii. Elaboración del cronograma de actividades detallado, con tiempos establecidos para cada fase del proyecto.
  - iv. Reunión con los responsables del biodigestor y docente tutor para definir las condiciones operativas, puntos de muestreo, y acceso al laboratorio.
- c. Duración estimada: 2 semanas

2. Fase de diseño del procedimiento y revisión de instructivos.

- a. Objetivos: Establecer los procedimientos técnicos y metodológicos.
- b. Actividades:
  - i. Revisión del instructivo de la determinación de DQO utilizado hasta el momento, y reformulación de uno actualizado basándose en métodos estandarizados y contemplación de situaciones fuera de lo común.

- ii. Diseño de un procedimiento de toma de muestras: especificación de la frecuencia, cantidad y condiciones de almacenamiento de las muestras del biodigestor.
    - iii. Revisión de los objetivos de medición y la forma de documentar los resultados obtenidos.
  - c. Duración estimada: 2 semanas.
- 3. Fase de toma de muestras y análisis inicial de DQO.
  - a. Objetivos: Realizar el análisis de DQO en las muestras iniciales y en los efluentes.
  - b. Actividades:
    - i. Toma de muestras iniciales: Obtención de muestras representativas de los residuos porcinos antes de ser introducidos en el biodigestor.
    - ii. Realización de pruebas de DQO en las muestras iniciales usando el método espectrofotométrico, asegurando el uso correcto del equipo y los reactivos.
    - iii. Toma de muestras finales: Al finalizar el tratamiento anaeróbico en el biodigestor, obtener muestras de los efluentes tratados.
    - iv. Análisis espectrofotométrico de las muestras finales, siguiendo los parámetros establecidos y registrando los resultados.
  - c. Duración estimada: 7 semanas.
- 4. Fase de análisis de resultados y evaluación de la eficiencia del biodigestor.
  - a. Objetivos: Evaluar la reducción de la carga orgánica y la eficiencia del biodigestor.
  - b. Actividades:

- i. Comparación de los resultados de DQO entre las muestras iniciales y las muestras finales para determinar la reducción de la carga orgánica.
    - ii. Análisis de la eficiencia del proceso anaeróbico: cálculo de la reducción porcentual de DQO.
  - c. Duración estimada: 5 semanas.
5. Fase de evaluación ambiental y análisis de economía circular.
- a. Objetivos: Estudiar la viabilidad de los subproductos del biodigestor en la economía circular.
  - b. Actividades:
    - i. Análisis del aspecto ambiental relacionado con la reducción de la carga orgánica en los efluentes tratados.
    - ii. Exploración de la integración de los subproductos del biodigestor en la cadena de valor del cerdo.
  - c. Duración estimada: 4 semanas.
6. Fase de redacción y presentación del informe final.
- a. Objetivo: Presentar los resultados obtenidos de manera clara y profesional.
  - b. Actividades:
    - i. Redacción del informe final.
    - ii. Preparación de la presentación oral para exponer los resultados ante el comité evaluador.
  - c. Duración estimada: 3 semanas.

El tiempo total estimado fue de aproximadamente diez semanas de trabajo, dicho desarrollo se puede observar de manera gráfica en el siguiente diagrama de Gantt.

| CRONOGRAMA DE TAREAS                                                                                                                                                                 |                                                                                                  |                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Diagrama de Gantt de la distribución en el tiempo de las actividades a realizar en la PPS y entrevistas con el/laTutor/aDocente para informar el grado de avance del Plan de Trabajo |                                                                                                  |                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| N°                                                                                                                                                                                   | ACTIVIDADES                                                                                      | TIEMPO DE DURACIÓN |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|                                                                                                                                                                                      |                                                                                                  | SEMANAS            |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|                                                                                                                                                                                      |                                                                                                  | 1                  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1                                                                                                                                                                                    | Entrevista con el tutor                                                                          |                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 2                                                                                                                                                                                    | Revisión bibliográfica - Reunión con partes involucradas - Determinación de elementos a utilizar |                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 3                                                                                                                                                                                    | Revisión de procedimientos y reformulación de instructivos.                                      |                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 4                                                                                                                                                                                    | Toma de muestras y determinación de DQO                                                          |                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 5                                                                                                                                                                                    | Revisión de avances con el tutor                                                                 |                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 6                                                                                                                                                                                    | Análisis de resultados obtenidos y determinación de eficiencia del biodigestor                   |                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 7                                                                                                                                                                                    | Reconocimiento de aspectos ambientales e importancia en economía circular                        |                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 8                                                                                                                                                                                    | Revisión de avances con el tutor                                                                 |                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 9                                                                                                                                                                                    | Redacción del informe y presentación                                                             |                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

Gráfico 1 – Diagrama de Gantt de actividades de la PPS

## 4. Descripción de la Práctica Profesional Efectuada

### 4.1 Revisión de documento de trabajo en laboratorio, recolección de muestras y manipulación

Al comenzar los encuentros con el docente tutor a cargo de la práctica, se recibió un instructivo diseñado en instancias previas por otros alumnos y docentes. Este documento tenía como objetivo orientar a los estudiantes y personal del laboratorio en la realización de diversas tareas prácticas relacionadas con el análisis de DQO de los efluentes del biodigestor.

Se procedió inicialmente al estudio y comprensión detallada del instructivo. Durante este análisis, se identificaron algunas áreas que requerían mejoras, ya que el documento presentaba omisiones en ciertos procedimientos clave, especialmente en lo que respecta a cómo actuar frente a situaciones excepcionales o problemáticas que pudieran surgir durante las pruebas en el laboratorio.

Uno de los principales objetivos de la práctica profesional supervisada era reformular y enriquecer el instructivo para convertirlo en una herramienta para los futuros becarios o estudiantes que deban realizar actividades similares en el laboratorio. De este modo, cualquier persona involucrada podría llevar a cabo los análisis de manera eficiente y autónoma, contando con una guía precisa que contemple no solo los procedimientos estándar, sino también posibles soluciones ante eventualidades o situaciones no contempladas en el documento original.

El instructivo reformulado se diseñó para ser un recurso de referencia que asegure la correcta realización de las tareas y el mantenimiento de los estándares de calidad en las pruebas de laboratorio y medición de estos efluentes se puede observar en el siguiente anexo:

[“Anexo I - Manual de laboratorio, recolección y manipulación de muestras”](#)

Como parte de la experiencia de laboratorio surgió la necesidad de tener un manual de procedimientos para la recolección y manipulación de las muestras

desde el biodigestor, las mismas se pueden ver de la misma manera en el anterior anexo.

#### 4.2 Toma de muestras y determinación de valores de DQO

La toma de muestras del biodigestor fue realizada por el personal del campo experimental, siguiendo las pautas establecidas en el procedimiento previamente detallado.

Como uno de los objetivos principales de este trabajo, se buscó determinar la eficiencia del proceso, para lo cual se obtuvieron muestras tanto al inicio como al final del ciclo de digestión anaeróbica. Estos valores permitieron establecer parámetros de entrada y salida del proceso, proporcionando información esencial para evaluar la viabilidad del uso del residuo tratado.

##### 4.2.1 Frecuencia y replicabilidad

La toma de muestras se llevó a cabo de manera quincenal durante un periodo de diez semanas, lo que permitió obtener una representación robusta, congruente y periódica del comportamiento del biodigestor. Este cronograma no solo ofreció datos comparables entre diferentes momentos del proceso, sino que también ayudó a detectar posibles variaciones en la eficiencia del sistema bajo condiciones operativas y ambientales fluctuantes. El enfoque regular permitió evaluar el desempeño del digestor anaeróbico de manera continua, garantizando que las conclusiones se basaran en datos estables y consistentes.

##### 4.2.2 Condiciones ambientales y operativas

Durante el periodo de muestreo, se registraron diversas condiciones climáticas, incluidos días de lluvia. A pesar de estas variaciones, los resultados obtenidos permanecieron dentro de los rangos esperados, lo que indica que el biodigestor mantuvo un comportamiento estable frente a estas fluctuaciones externas. Esto sugiere que el diseño y operación del sistema poseen una estabilidad que puede ser beneficiosa en entornos reales donde las condiciones ambientales no siempre son controlables.

#### 4.2.3 Resultados de los ensayos

A continuación, se presenta la tabla y gráficos asociados a los parámetros de evaluación de DQO obtenidos mediante el proceso descrito en el instructivo que se realizó anteriormente.

| Fecha de medición | Reducción porcentual |
|-------------------|----------------------|
| 15-09-23          | 42%                  |
| 27-09-23          | 40%                  |
| 09-10-23          | 38%                  |
| 23-10-23          | 41%                  |
| 23-10-23          | 41%                  |
| 06-11-23          | 39%                  |
| 09-11-23          | 40%                  |
| 21-11-23          | 38%                  |
| 18-12-23          | 36%                  |

*Tabla 2 – Variación porcentual de la reducción de DQO en las muestras*

Como se puede observar, la reducción porcentual de DQO se mantiene en el orden del 40%, sin la presencia de valores atípicos. Durante el periodo de la práctica se registraron días con precipitaciones y variaciones en las temperaturas ambientales, sin esto afectara significativamente el desempeño del biodigestor. Por lo tanto, se puede concluir que el sistema digestor opera de manera eficiente bajo las condiciones evaluadas.

A continuación, se presentan los gráficos correspondientes a la tabla, para facilitar la visualización de los resultados.

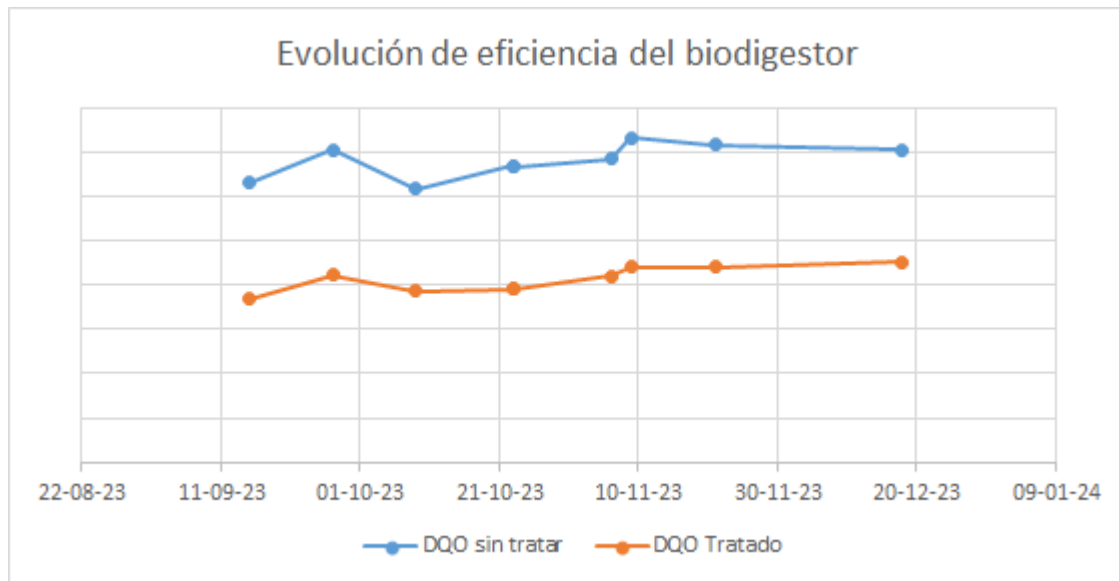


Gráfico 2 – Evolución de eficiencia del biodigestor en el periodo.

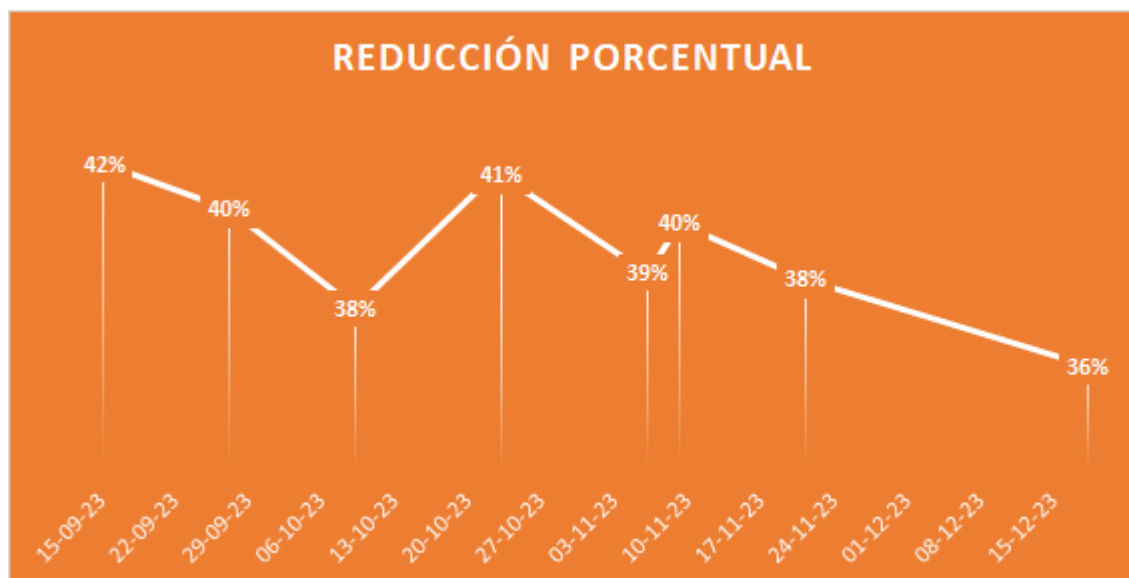


Gráfico 3 – Variación porcentual relativa de la eficiencia del proceso digestor

#### 4.2.4 Tratamiento aeróbico

El tratamiento aeróbico, a diferencia del anaeróbico realizado en el biodigestor, es un proceso biológico en el que microorganismos descomponen la materia orgánica en presencia de oxígeno. Este proceso se utiliza ampliamente en el tratamiento de aguas residuales para reducir la carga contaminante, mejorar la calidad del agua y cumplir con los límites de vuelco establecidos por la normativa ambiental.

Como se mencionó, el tratamiento anaeróbico reduce la DQO mediante la degradación parcial de la materia orgánica. Sin embargo, este proceso deja un efluente con una DQO aún elevada debido a la presencia de compuestos solubles y materia orgánica parcialmente degradada, es por esta razón que para mejorar la calidad del efluente y alcanzar valores de vuelco aceptables, se recomienda un tratamiento aeróbico posterior. Para integrarlo, se requiere un pretratamiento para remover sólidos, seguido de un proceso de aireación para activar la degradación biológica. Posteriormente, se realiza una sedimentación secundaria para separar lodos y una desinfección final antes del vuelco.

Generalmente se utiliza en una primera instancia el tratamiento anaeróbico antes del aeróbico porque permite reducir significativamente la carga orgánica del efluente con menor consumo energético. El tratamiento aeróbico, aunque más efectivo en la eliminación de la DQO, requiere una aireación constante, lo que implica un mayor consumo eléctrico y costos operativos elevados. Al aplicar primero el anaeróbico, se disminuye la carga contaminante inicial, reduciendo así la demanda de oxígeno en el proceso aeróbico posterior.

Al realizar la experiencia se realizó un único muestreo luego del tratamiento aeróbico de una muestra ya tratada con el anaeróbico para comprobar si aumentaba la reducción y los resultados fueron los siguientes:

| Reducción anaeróbica | Reducción del aeróbico sobre el tratado | Reducción total desde el inicio del tratamiento |
|----------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 36%                  | 26%                                     | 52%                                             |

*Tabla 3 – Reducción porcentual del tratamiento anaeróbico, aeróbico y total*

El proceso aeróbico analizado en el punto anterior se utiliza para presentar un efluente más pulido en términos de ser aceptable para poder volcar el efluente a su deposición final. En la Provincia de Buenos Aires, la regulación de los límites de vuelco de efluentes en campos está establecida por la Autoridad del Agua<sup>13</sup>. La normativa vigente es la Resolución ADA N° 336/2003, que en su Anexo II define los parámetros de calidad para las descargas en cuerpos de agua superficiales y colectoras cloacales. Esta resolución establece los límites

<sup>13</sup> ADA

máximos permisibles para diversos contaminantes presentes en los efluentes, incluyendo la DQO, sólidos suspendidos, nutrientes y metales pesados, entre otros. Es fundamental que los efluentes tratados cumplan con estos parámetros antes de ser vertidos en campos o cuerpos de agua, con el objetivo de proteger la calidad del recurso hídrico y el medio ambiente.

Las tablas de vuelco aceptable según el lugar de deposición se pueden observar en el siguiente anexo:

#### [Anexo II – Tablas de vuelco superficial aceptable](#)

### 4.3 Análisis de resultados y eficiencia del proceso digestor

#### 4.3.1 Reducción de DQO

La reducción porcentual promedio de la DQO se mantuvo en un rango consistente entre el 36% y el 42%. Estos resultados indican un poder estable del biodigestor, a pesar de las variaciones que se podrían observar bajo el cambio de las condiciones climáticas, como días de lluvia. El sistema parece tener una capacidad de amortiguación frente a factores externos que podrían haber alterado el proceso de digestión anaeróbica.

#### 4.3.2 Evolución temporal

En el gráfico 2 – “Evolución de eficiencia del biodigestor”, se observa que los valores de DQO inicial (sin tratar) tienden a mantenerse dentro de un rango constante, lo cual sugiere que la calidad y cantidad de los residuos ingresados al biodigestor no experimentaron fluctuaciones significativas. Por su parte, los valores de DQO tratados también muestran consistencia, reflejando la capacidad del biodigestor de procesar los residuos de manera uniforme.

#### 4.3.3 Análisis de la reducción porcentual

En el gráfico 3 – “Variación porcentual de la eficiencia del proceso”, se observa una relación directa entre las concentraciones más altas de DQO inicial y los mayores valores de eficiencia del proceso. Este comportamiento es coherente con la lógica de los procesos biológicos de degradación anaerobia,

donde una mayor carga orgánica inicial proporciona más sustrato disponible para las comunidades microbianas.

En sistemas como biodigestores, las bacterias responsables de la digestión anaerobia actúan en función de la cantidad de materia orgánica disponible. Cuando las concentraciones de DQO son altas, estas bacterias tienen una mayor cantidad de alimento, lo que optimiza su actividad metabólica y, por ende, mejora la eficiencia en términos porcentuales.

Sin embargo, esta relación no depende únicamente de la cantidad de sustrato, sino que está influenciada por otros factores clave como:

- **Temperatura:** Afecta directamente la actividad enzimática de las bacterias. Las temperaturas dentro del rango óptimo (generalmente entre 35-55 °C para digestión anaerobia mesofílica y termofílica) favorecen la eficiencia.
- **Tiempo de retención hidráulica (TRH):** Define cuánto tiempo permanece el sustrato en el biodigestor. Un TRH adecuado asegura que las bacterias tengan suficiente tiempo para degradar la materia orgánica, para este caso en particular el biodigestor cuenta con un sistema de recirculación que es operado por el personal del campo experimental.
- **Composición del sustrato:** Variaciones en la proporción de carbohidratos, proteínas y lípidos pueden influir en el rendimiento del proceso, ya que cada compuesto tiene una tasa de degradación diferente.
- **Acumulación de productos inhibitorios:** Subproductos como los ácidos grasos volátiles (AGV) pueden acumularse y disminuir la eficiencia si no son consumidos a tiempo.

En este caso particular, dado que no se detectaron valores atípicos ni pérdidas significativas de eficiencia, se puede suponer que el sistema ha demostrado una sólida robustez frente a diferentes perturbaciones. Esto sugiere que, aunque no se puede garantizar un control total de las condiciones ambientales y operativas, el digestor tiene la capacidad de adaptarse y funcionar de manera estable incluso ante variaciones en la carga orgánica inicial.

#### 4.3.4 Condiciones operativas y fiabilidad

La implementación de blancos al inicio y entre las muestras confirma la fiabilidad de las mediciones realizadas. Además, el diseño del sistema y la operación del biodigestor se han mostrado efectivos ya que como se mencionó anteriormente, las precipitaciones registradas no fueron generadoras de resultados fuera de los patrones esperados.

#### 4.3.5 Conclusión del análisis de resultados y el uso de un tratamiento aeróbico

En general, los resultados respaldan la viabilidad de la digestión anaeróbica como una solución aceptable para el tratamiento de residuos porcinos, asegurando la reducción significativa de la carga orgánica de los efluentes. Este desempeño eficiente posiciona al biodigestor como una herramienta clave dentro de esquemas de reducción de impacto ambiental de los desechos y ofreciendo subproductos potencialmente valiosos como biofertilizantes para la cadena de valor porcina como se explicará más adelante en este trabajo.

La incorporación de un tratamiento aeróbico posterior al anaeróbico no solo es aceptable, sino que es fundamental para garantizar la reducción efectiva de la DQO y otros contaminantes, permitiendo su disposición final de acuerdo con la normativa vigente<sup>14</sup>. Este tratamiento complementa la primera depuración al favorecer la oxidación de compuestos residuales mediante la acción de microorganismos en presencia de oxígeno. Esto no solo mejora la calidad del efluente, sino que también minimiza el impacto ambiental y sanitario, asegurando que el vuelco superficial cumpla con los límites establecidos en la [Resolución 336/03](#) del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible<sup>15</sup>.

Al obtener un residuo líquido más pulido con valores aceptables de vuelco superficial, es donde se puede implementar el mismo como fertilizante, estudiando previamente cuales son los compuestos en los que es rico este efluente.

---

<sup>14</sup> [Decreto 674/89](#)

<sup>15</sup> OPDS

De esta manera, la combinación secuencial de ambos tratamientos permite optimizar el proceso, reducir costos operativos y facilitar la integración del sistema en un modelo de producción más sostenible, cumpliendo con los requisitos ambientales exigidos para la disposición segura de los efluentes en suelos agrícolas.

#### 4.4 Conclusiones preliminares de los aspectos ambientales

La implementación del biodigestor para el tratamiento de desechos porcinos tiene implicaciones significativas desde el punto de vista ambiental. Esta evaluación considera tanto los beneficios directos como los potenciales riesgos asociados al proceso, alineándose con los principios de la sostenibilidad y la economía circular, así como con algunos de los puntos de la ODS<sup>16</sup>. A continuación, se presentan algunos de los puntos más importantes sobre esta evaluación.

##### 4.4.1 Reducción de la contaminación por residuos orgánicos

La digestión anaeróbica es una tecnología eficaz para disminuir la demanda química de oxígeno, la cual también se puede extrapolar a otros parámetros, lo que implica una reducción significativa de la carga orgánica en los efluentes. Este proceso minimiza el riesgo de contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos al evitar la disposición directa de residuos sin tratar, reduciendo la posibilidad de eutrofización<sup>17</sup> en ecosistemas acuáticos.

##### 4.4.2 Valorización de subproductos

El digestato<sup>18</sup>, debe ser analizado, ya que posee una gran potencialidad para ser utilizado como biofertilizante en sistemas agrícolas. Este material es rico en nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, lo que disminuye la necesidad de fertilizantes químicos de síntesis y su impacto ambiental asociado.

---

<sup>16</sup> Objetivos de Desarrollo Sostenible.

<sup>17</sup> Incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton.

<sup>18</sup> Material rico en nutrientes que se obtiene como subproducto de la digestión anaeróbica de materia orgánica biodegradable.

#### 4.4.3 Disminución de olores y vectores de enfermedades

El tratamiento de los residuos por este método reduce significativamente los olores desagradables asociados a la acumulación de desechos orgánicos. Además, el proceso disminuye la presencia de microorganismos patógenos y huevos de parásitos, mejorando las condiciones sanitarias del entorno.

#### 4.4.4 Limitaciones y consideraciones

Aunque el biodigestor representa una solución ambientalmente favorable, su implementación y operación no están exentas de desafíos. Uno de los riesgos principales es la gestión inadecuada de los efluentes líquidos y sólidos generados durante el proceso de digestión anaeróbica.

Si no se manejan adecuadamente, pueden producirse lixiviados<sup>19</sup> ricos en nutrientes y materia orgánica que, al infiltrarse en el suelo, podrían contaminar cuerpos de agua subterráneos, afectando su calidad. Para evitar este problema, es fundamental contar con sistemas de recolección y tratamiento de lixiviados que prevengan filtraciones accidentales.

Asimismo, los digestatos deben almacenarse en estructuras impermeables, como en este caso que el almacenamiento se realizó con un bajo costo mediante una lona de camión, y su aplicación en suelos agrícolas debe realizarse siguiendo pautas estrictas de dosificación para prevenir la acumulación excesiva de nutrientes que podrían causar eutrofización en ecosistemas cercanos.

Otro desafío relevante está relacionado con las condiciones climáticas. La digestión anaeróbica es altamente sensible a las variaciones de temperatura, lo que afecta la actividad microbiana dentro del biodigestor. En climas fríos o durante inviernos severos, la actividad de los microorganismos puede ralentizarse, reduciendo la eficiencia en la reducción de la carga orgánica. En climas extremadamente cálidos, las temperaturas elevadas pueden alterar el equilibrio de la comunidad microbiana, comprometiendo la estabilidad del

---

<sup>19</sup> Líquidos tóxicos que se forman cuando se filtra el mismo a través de los residuos y vertederos.

proceso. Para mitigar estos efectos, se deben diseñar biodigestores con aislamiento térmico adecuado y, cuando sea necesario, sistemas de regulación de temperatura, como intercambiadores de calor o calefacción suplementaria, para garantizar el óptimo funcionamiento en condiciones climáticas adversas.

#### 4.4.5 Análisis de sostenibilidad

El tratamiento de residuos porcinos mediante biodigestores representa una estrategia sostenible que contribuye significativamente a los ODS establecidos por la ONU<sup>20</sup>. En particular, esta tecnología está estrechamente alineada con el ODS 6, que busca garantizar la disponibilidad de agua limpia y saneamiento para todos, el ODS 7, enfocado en promover el acceso a energía asequible, segura, sostenible y moderna, y el ODS 13, que se centra en adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Desde la perspectiva del ODS 6, el uso de biodigestores contribuye a la mejora de la calidad del agua al reducir la carga orgánica y los contaminantes presentes en los efluentes porcinos. Esto minimiza los riesgos de contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, lo que es fundamental para la preservación de recursos hídricos vitales. Además, el control y tratamiento adecuado de estos residuos disminuye el impacto negativo sobre los ecosistemas acuáticos, favoreciendo la protección de la biodiversidad.

En relación con el ODS 7, aunque no se utiliza biogás en este proyecto específico, el sistema tiene el potencial de generar energía renovable a partir de la digestión anaeróbica en otros contextos, lo que ayuda a diversificar las fuentes de energía y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Adicionalmente, la valorización de subproductos como el digestato permite reducir el consumo de insumos agrícolas convencionales, promoviendo una economía más eficiente.

Finalmente, en el marco del ODS 13, la tecnología de biodigestión anaeróbica ofrece una solución viable para mitigar los efectos adversos de la producción porcina sobre el cambio climático. La adecuada gestión de residuos

---

<sup>20</sup> Organización de las Naciones Unidas

orgánicos reduce la liberación de gases de efecto invernadero como el metano, que se genera de forma descontrolada en acumulaciones abiertas de desechos. A pesar de que la generación de este gas se realiza de igual manera, y como se explicó en la relación con el ODS 7, el uso como biofertilizante de los subproductos generados en la digestión, compensa la generación de metano al no adquirir por otros medios fertilizantes convencionales.

#### 4.4.6 Conclusión de los aspectos ambientales

En términos generales, la implementación del biodigestor en el contexto de la producción porcina representa un avance en términos de sostenibilidad. La capacidad para reducir la carga orgánica de los residuos, posibilidad de generar energía renovable y valorizar subproductos hace de este sistema una herramienta para minimizar el impacto ambiental de las actividades agroindustriales.

#### 4.5 Incorporación a la cadena de valor de producción porcina

La cadena de valor de la producción porcina incluye múltiples etapas, desde la provisión de insumos hasta la comercialización de productos finales. Cada etapa presenta oportunidades de mejora mediante la incorporación de tecnologías como el biodigestor. A continuación, se analizan los puntos clave de la cadena de valor porcina, identificando dónde se inserta el tratamiento de residuos mediante digestión anaeróbica y cómo contribuye a cerrar o expandir el ciclo productivo.

##### 4.5.1 Descripción de la cadena de valor de la producción porcina

La cadena de valor de la producción porcina puede dividirse en las siguientes etapas:

1. Producción primaria: Incluye la cría, engorde y cuidado de los animales, así como la gestión de insumos como alimentos, agua y medicamentos.
2. Generación de subproductos: Desechos orgánicos como el estiércol y restos alimenticios generados durante la crianza.
3. Procesamiento y transformación: Producción de carne y productos derivados.

4. Comercialización: Venta de carne, derivados y subproductos como fertilizantes o energía.
5. Gestión de residuos: Manejo de los desperdicios, ya sean líquidos y sólidos generados en las etapas anteriores tanto en la granja como en las plantas de procesamiento.

#### 4.5.2 Posibles puntos de inserción del biodigestor

El biodigestor podría ingresar en las etapas de producción primaria y gestión de residuos mencionados anteriormente, generando impactos transversales en las siguientes áreas de la cadena:

- Generación de energía: Aunque no es el caso de este estudio ni el biodigestor analizado, es posible usar el biogás como fuente de energía.
- Producción de biofertilizantes: Aprovechamiento del digestato para mejorar la productividad agrícola y reducir costos asociados a los procesos de siembra de alimento para los mismos animales que alimentan el biodigestor.
- Reducción de impactos ambientales: Mejora en la gestión de residuos y compensación de emisiones de gases de efecto invernadero al utilizar subproductos.

#### 4.5.3 Impacto económico en la cadena de valor

La incorporación del biodigestor genera beneficios económicos tangibles como los siguientes:

- Ahorro en fertilizantes químicos: El digestato puede reemplazar parcialmente los fertilizantes sintéticos.
- Reducción de costos energéticos: El uso de biogás puede cubrir una parte de la demanda energética de una granja porcina mediana.
- Valorización de subproductos: Venta de digestato o biogás a terceros, lo que puede convertirse en una nueva fuente de ingresos.

## 5. Conclusiones

El presente informe ha demostrado la efectividad del biodigestor como una solución sostenible para el tratamiento de los efluentes generados en la industria porcina, destacándose por su capacidad para reducir significativamente la demanda química de oxígeno, con una disminución registrada entre el 36% y el 42%. Estos resultados no solo validan la viabilidad técnica del biodigestor, sino que también subrayan su potencial para contribuir a la mitigación del impacto ambiental asociado a la gestión de residuos porcinos.

Adicionalmente, el digestato obtenido como subproducto del proceso anaeróbico representa un material con valor agregado que puede ser utilizado como biofertilizante, aportando nutrientes esenciales y reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos convencionales. Este aprovechamiento refuerza los principios de sostenibilidad y economía circular.

Es importante señalar que, para garantizar el cumplimiento de los parámetros requeridos para la disposición superficial de los efluentes en campo, resulta fundamental implementar un tratamiento aeróbico complementario. Este paso adicional, ubicado aguas abajo del biodigestor, asegura una depuración aun mayor del efluente y permite su disposición segura y ambientalmente responsable, minimizando los impactos negativos en los suelos y cuerpos de agua cercanos.

Por otro lado, el rediseño del instructivo de trabajo en laboratorio ha optimizado los procedimientos prácticos, facilitando la capacitación del personal de laboratorio y mejorando la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos, lo que eleva la calidad del proceso de monitoreo y evaluación. Este avance tiene un impacto en el conocimiento académico, acercando la teoría a la práctica.

A pesar de los avances conseguidos, este trabajo debe ser considerado como el inicio de un camino más amplio. A futuro es imprescindible profundizar en el estudio de los componentes químicos, así como la genética de la vida microbiana que existe en el digestato y catalogarla para un potencial uso

agrobiológico de la misma, por otro lado, se debería profundizar en un estudio completo de impacto ambiental. Juntos con los estudios mencionados se puede agregar el estudio de calidad del gas producido en el digestor, cantidad real, su posible uso, envasado, y manipulación, así como la factibilidad económica de utilizarlo considerando los costos operativos de una planta de tratamiento para la porción de generación dada en el biodigestor.

## 6. Bibliografía

- I. Air Liquide. (n.d.). Tratamiento de aguas residuales y la importancia de la DQO. Recuperado de [airliquide.com](https://airliquide.com)
- II. APHA (American Public Health Association). (2022). Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales. APHA Press.
- III. Avanza la conformación del nuevo centro de investigaciones del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. (s/f). Gov.ar. Recuperado el 24 de noviembre de 2024, de, <https://www.conicet.gov.ar/avanza-la-conformacion-del-nuevo-centro-de-investigaciones-del-noroeste-de-la-provincia-de-buenos-aires/>
- IV. Aquanova. (n.d.). Diferencias entre DQO y DBO: una guía para el análisis del agua. Recuperado de [aquanova.es](https://aquanova.es)
- V. CONICET. (2023). "Digestión anaeróbica y mitigación del impacto ambiental." Recuperado de <https://www.conicet.gov.ar>
- VI. CONICET. (2023, noviembre 17). Avanza la conformación del nuevo centro de investigaciones del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Recuperado de <https://www.conicet.gov.ar/avanza-la-conformacion-del-nuevo-centro-de-investigaciones-del-noroeste-de-la-provincia-de-buenos-aires/>
- VII. E. P. H. P. la D., & Cr, D. P. (n.d.). Método de análisis de la DQO. Itwreagents.com. Recuperado el 26 de noviembre de 2024, de [https://www.itwreagents.com/download\\_file/info\\_point/IP-025/es/IP-025\\_es.pdf](https://www.itwreagents.com/download_file/info_point/IP-025/es/IP-025_es.pdf)
- VIII. Granja – Granja Educativa. (s/f). Edu.ar. Recuperado el 20 de noviembre de 2024, de <https://granjaeducativa.unnoba.edu.ar/granja/>
- IX. Guía para el análisis de la demanda química de oxígeno (DQO). (n.d.). Hannacolombia.com. Recuperado el 26 de noviembre de 2024, desde [https://www.hannacolombia.com/blog/post/115/guia-para-el-analisis-la-demanda-quimica-oxigeno-dqo?srsId=AfmBOorFhduah7w-X-thUR1afNe33GZGYFEWPyOahJZrpaGXsVP\\_zGi9](https://www.hannacolombia.com/blog/post/115/guia-para-el-analisis-la-demanda-quimica-oxigeno-dqo?srsId=AfmBOorFhduah7w-X-thUR1afNe33GZGYFEWPyOahJZrpaGXsVP_zGi9)

- X. Janeiro, M. (2012). Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO). *Mente & Materia*, 3(1), 21-23. Recuperado de [revistas.utp.ac.pa](http://revistas.utp.ac.pa)
- XI. Laboratorio de Limnología. (s/f). *Edu.ar*. Recuperado el 24 de noviembre de 2024, desde, [https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/handle/23601/110?utm\\_source=chatgpt.com](https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/handle/23601/110?utm_source=chatgpt.com)
- XII. Martino, S. (2020, septiembre 4). Biodigestor: un proyecto “win-win”. *El Universitario*; UNNOBA. <https://eluniversitario.unnoba.edu.ar/2020/09/04/biodigestor-un-proyecto-win-win/>
- XIII. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Manual de tratamientos de aguas residuales. Gobierno de Colombia.
- XIV. Metcalf & Eddy. (2013). Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento y recuperación de recursos. McGraw-Hill Education.
- XV. Oa, D. E. H. (n.d.). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Redalyc.org. Recuperado el 26 de noviembre de 2024, de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319408.pdf>
- XVI. Sagua, M., Un ozzi, G., & Schiaffino, M. R. (2021). Shallow lakes from the Salado River basin (Buenos Aires, Argentina): effects of anthropogenic activities. <https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/handle/23601/224>
- XVII. Sawyer, C., McCarty, P., & Parkin, G. (2003). Química para ingeniería ambiental. McGraw-Hill.
- XVIII. Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2014). Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento y reúso. McGraw-Hill.
- XIX. UNEP. (2020). Methane Emissions in Agriculture and Livestock Management. Recuperado de UNEP - UN Environment Programme
- XX. United Nations Development Programme. (2015). Sustainable Development Goals. Recuperado de <https://sdgs.un.org/>
- XXI. Universitario, E. (2015, junio 23). Campo experimental, un puente entre la teoría y la práctica. *El Universitario*; UNNOBA. <https://eluniversitario.unnoba.edu.ar/2015/06/23/campo-experimental-un-puente-entre-la-teoria-y-la-practica/>

XXII. Vista de Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO). (n.d.).  
Utp.ac.pa. Recuperado el 24 de noviembre de 2024,  
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/view/467/pdf>

## 7. Anexos

Anexo I - Manual de laboratorio, recolección y manipulación de muestras

Anexo II – Tablas de vuelco superficial aceptable

## 8. Agradecimientos

Esta quizás fue el punto que mayor cantidad de veces en revisión estuvo, no quería dejar a nadie afuera y eso significa que algo bien realice en todo este camino, ya que fue mucha la gente que me acompañó y a la que le debo el estar aquí en este momento.

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia y en especial a mis padres, ellos fueron un gran incentivo motivacional y de fuerzas para empezar la carrera, y es una gran pena que hoy no puedan estar acá físicamente para celebrar este logro que es en gran parte de ellos. ¡Lo logramos!

Luego le quiero dar gracias a mi compañera, quien está conmigo desde antes de empezar a estudiar, cuando no tenía ninguna meta clara ni camino a recorrer. Estamos juntos desde el inicio y formamos juntos este camino que nos llevó realmente lejos. Maravillosa persona que sin importar que pasara, ahí estuvo, momentos buenos, muy malos, escuchando, haciendo un mate, viéndome hacer cosas raras con las manos como determinar la orientación de campos magnéticos. En las risas, las renegadas, cuando me quise comer el mundo y cuando quería tirar todo por la borda, siempre ahí. Gracias mi amor, este logro es tan tuyo como mío.

A mis suegros, las primeras personas que creyeron en mí que no eran de mi familia, se hicieron carne, nos hicimos familia y me apoyaron en todos los momentos y aspectos como a un hijo, gracias, les estaré eternamente agradecido.

A la familia Pubill, un profesor que me encontré en estos pasillos, que casi sin conocerme apostó por mí, me dio un trabajo que me permitió terminar de estudiar, me incluyo en su vida y su familia, excelentes personas muy generosas sin ningún tipo de miramientos. Podré decir colegas en unos momentos, pero la palabra amigos me gusta más, gracias por la banca y tantas herramientas para la vida profesional.

A mis amigos y compañeros de la facultad. Esta experiencia me dio una banda hermosa, gente con la que compartí mucho al principio e hicieron más llevaderos los primeros años, y después, unos locos bárbaros que les debo muchísimo, estar siempre ahí con una palabra de aliento, ayudándome en materias para que no las deje cuando el trabajo no me permitía asistir. Despertarse temprano un domingo para explicarme algo a mi o hacer un trabajo práctico porque era el único día que yo podía. Yo creo que los últimos años y materias hubieran sido muy difíciles y casi imposibles sin ellos. Y también darles las gracias, porque cuando las cosas a nivel personal se pusieron realmente difíciles, no aflojaron ni un poco, redoblaron la apuesta y eso nos Hermanó.

Por último, pero no menos importante le quiero agradecer a la UNNOBA. Soy nieto de personas analfabetas, que, aunque no es poca cosa solo conocían la cultura del trabajo. Soy hijo de un mecánico y un ama de casa, que aún sin experimentarlo sabían que el estudio es el único progreso para la gente como nosotros.

Soy el primer universitario de mi familia, y aunque nada se me regaló y el camino fue bien empinado, acá estoy, después de muchísimo sacrificio personal y de los que mencioné, pero seguramente hubiera sido mucho más difícil si no existiera la UNNOBA, una universidad medio aislada de las grandes urbes, pero que está acá para los que la queremos aprovechar, una universidad pública, gratuita y por sobre todas las cosas de calidad, que brinda grandes herramientas para los que queremos estudiar.

Y aún más que a la UNNOBA, me gustaría agradecerle a la Escuela de Tecnología, un espacio físico que alberga grandes profesionales con una vocación increíble por lo que hacen. Sin dudas que hay cosas para mejorar, pero no dudo que siempre están detrás de eso. Detrás de estas puertas, hay docentes preocupados por innovar en la educación, administrativos que se preocupan y ocupan por el alumnado, no docentes que hacen una labor maravillosa cada día.

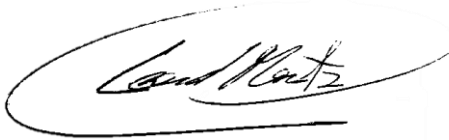
Esta universidad no solo me dio el espacio para formarme como ingeniero, si no que me permitió descubrir una pasión y desarrollar un perfil en la docencia

y apostó por mí para hacerlo y que me desarrolle profesionalmente en ese ámbito, para ayudar y aportar en las cosas que creo que se puede mejorar y comprender también porque algunas se hacen como se hacen.

Para mejorar las cosas, hay que involucrarse.

A todos, eternamente gracias.

Fernando Leonel Moneta.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fernando Moneta', enclosed within a faint, light-colored rectangular border.