

CAI+D 2024 - PLAN DE TRABAJO

(Extensión máxima 20 páginas)

- 1 - TIPO DE PROYECTO: CAI+D Iniciación
- 2 - TÍTULO DEL PROYECTO: “Construcción y evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de efluentes de un frigorífico porcino”.
- 3 - DIRECCIÓN DEL PROYECTO
 - 3.1 - Director/a: Dra. Maria Laura Griselda Deseta
- 4 - COMISIÓN ASESORA INTERNA (C.A.I.)
 - 4.1 - Comisión Asesora Interna propuesta: Ciencias de la Ingeniería, Ciencias Agrarias y Tecnologías
- 5 - ANTECEDENTES SOBRE EL TEMA
 - 5.1 - Estado del Arte - Marco teórico de referencia:

La industria frigorífica porcina Argentina ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. A pesar de los desafíos, como la balanza comercial y la demanda interna, el sector se encuentra en una fase de expansión sostenida con oportunidades emergentes. En Argentina, la producción de carne porcina se ha duplicado en los últimos 10 años y quintuplicado en los últimos 20 años. Anualmente se producen más de 700.000 toneladas anuales de carne de cerdo (Fig.1).



Figura 1. Producción de carne porcina en Argentina, donde se grafican las toneladas de carne con hueso en función con los años. Fuente: Bolsa de Comercio de Rosario



Las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos lideran la faena porcina en el país y representan casi el 90% del total. Son varias las razones que han motivado el aumento de la producción, del consumo y de la competitividad del sector. Entre ellas la mejora de la producción primaria, la incorporación de tecnología y consecuente reducción de costos, la ausencia de amenazas sanitarias y apertura de mercados de exportación, la disponibilidad de granos para alimentación del animal, la valoración positiva y percepción saludable respecto a su incorporación en la dieta por parte del consumidor.

Sin embargo, a pesar de los avances, la industria aún debe superar desafíos para consolidar su posición en el mercado nacional e internacional, en donde la gestión ambiental juega un rol clave para posicionar a estas empresas en el exterior, teniendo que hacer frente al consecuente incremento de los volúmenes de efluentes y al colapso de las capacidades de tratamiento de las plantas tradicionales. En la provincia de Santa Fe, el tratamiento de efluentes líquidos de frigoríficos porcinos se realiza mayoritariamente mediante sistemas de lagunas (Balmaceda, J., & Ortiz, R., 2016). Este método es especialmente adecuado debido a las amplias áreas disponibles y las condiciones climáticas favorables de la región. El tratamiento por lagunas comprende generalmente tres etapas: lagunas anaerobias, lagunas facultativas y lagunas de maduración (Rodríguez, M., & Gómez, L., 2018).

En las lagunas anaerobias, la materia orgánica es descompuesta por microorganismos en ausencia de oxígeno, produciendo biogás como subproducto. Estas lagunas suelen tener una profundidad de entre 3 a 5 metros, lo que facilita la sedimentación y el procesamiento anaerobio en el fondo. En las lagunas facultativas, se da la combinación de procesos anaerobios en el fondo y aeróbicos en la superficie, facilitando una mayor descomposición de la materia orgánica. Estas lagunas tienen una profundidad intermedia, generalmente entre 1.5 a 2.5 metros, permitiendo un equilibrio entre las zonas aeróbicas y anaeróbicas. Por último, las lagunas de maduración proporcionan un tiempo de retención adicional para la sedimentación de sólidos y la reducción de patógenos, logrando un efluente más limpio antes de su disposición final. Estas lagunas son más superficiales, con profundidades que varían entre 1 a 1.5 metros, optimizando la exposición al oxígeno y la luz solar, lo cual favorece la eliminación de patógenos. Este enfoque es valorado por su bajo costo de operación y mantenimiento, aunque requiere de grandes extensiones de terreno y demanda tiempos de retención hidráulica de entre 55 a 80 días (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2020).

Una alternativa en el tratamiento de aguas residuales de diferentes orígenes tales como las domésticas, agrícolas, industriales, escorrentías urbanas, entre otras, es la implementación de humedales artificiales (HA) ampliamente estudiados por los autores Maine y col (2006, 2017), Pelissari y col. (2017) y Šereš y col. (2021), con la utilización de la fitorremediación. Es conocida por ser un proceso efectivo, de bajo costo, accesible y ecológico (dos Santos y col., 2020). Los humedales artificiales (en inglés *Constructed Wetland*) han sido promovidos en el informe sobre Desarrollo hídrico de las Naciones Unidas, ya que imita los procesos naturales. La interfaz medioambiente-agua se puede gestionar de forma pro-activa para encarar los retos hídricos a través de soluciones basadas en la naturaleza. Este enfoque se centra en la idea de que la infraestructura natural puede funcionar de la misma manera que la infraestructura construida, proporcionando importantes beneficios a la gente, como la conservación de la biodiversidad, la pesca, el ocio y el turismo y reducir los costes operativos relativos al agua. Esta tecnología está en continuo desarrollo a nivel mundial como una alternativa sustentable y respetuosa con el ambiente para el tratamiento de efluentes líquidos (Programa Mundial de Recursos Hídricos. UNESCO 2021).

Existen dos tipos de HA, uno de flujo superficial y otro de flujo subsuperficial. A su vez, este último se diferencia en vertical y horizontal. Los HA son capaces de reducir eficientemente, mediante procesos físicos, químicos y biológicos, los Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Biológica Oxígeno (DBO), Demanda Química Oxígeno (DQO), Nitrógeno Total (NT), Fósforo Total (PT), la carga

microbiana y otros contaminantes. Al operar en condiciones óptimas se alcanzan eficiencias de remoción entre el 71% y el 91 % de la DQO, el 54 % y el 94% de la DBO, del 21% al 80% del NT, del 67% al 91% del PT. Además, los HA tienen el potencial de remover metales, antibióticos y microorganismos patógenos presentes en efluentes porcinos. En dicha industria se utilizan como tratamiento secundario o terciario, ya que las altas concentraciones de materia orgánica y sólidos en suspensión características de este tipo de efluentes disminuyen la eficiencia de remoción que presentan los HA. Para su implementación, es necesario configurar diferentes etapas de tratamiento, incluyendo procesos de digestión anaerobia y separación de sólidos para reducir la carga de los contaminantes mayoritarios y mejorar el desempeño de los HA (Narváez, 2020). Los microorganismos patógenos presentes en el efluente de ganado porcino pueden ser removidos en un HA o natural mediante radiación ultravioleta, adhesión, toxinas, depredación y muerte natural.

La fitorremediación se basa en distintos procesos de remediación que varían según las partes de la planta que participan o los microorganismos que contribuyen con la degradación de los contaminantes (Gonzalez *et al.* 2010). Se destacan la fitovolatilización, la sedimentación, la degradación biológica, la adsorción y la absorción mediante el sistema radicular para eliminar los diferentes contaminantes (Imfeld y col., 2009; Kataki y col., 2021). Las macrófitas herbáceas son un diverso grupo de organismos fotosintéticos propios de humedales (ambientes acuáticos lénticos), visibles a simple vista, cuyas partes vegetativas pueden crecer sumergidas, emerger desde o flotar en la superficie del agua, de forma permanente o periódica, dependiendo de la especie de vegetal (Gómez, 2023). Estas plantas cumplen roles estructurales y funcionales claves en los humedales, proveen refugio, hábitat y son fuente de alimento para una gran diversidad de organismos, intervienen en el ciclo de nutrientes (nitrógeno, carbono, fósforo, etc.), mejoran la calidad del agua, modifican la hidrología y la dinámica de los sedimentos, sostienen una alta biodiversidad, entre otras funciones (Chambers y col., 2008; Kandus y col. 2010; Bornette & Puijalon, 2011; Gómez, 2023).

Las macrófitas participan en la eliminación de contaminantes que ingresan a los humedales actuando como trampas o filtros biológicos para la descomposición de los contaminantes, estabilizando las sustancias presentes en el suelo y agua al fijarlos en sus raíces y tallos. Estas los metabolizan, tal como lo hacen los microorganismos, para finalmente convertirlos en compuestos menos peligrosos y más estables, como dióxido de carbono, agua y sales minerales (Peña, 2001). En este proceso, también están transfiriendo oxígeno ambiental a los sustratos y al ambiente acuático. Las raíces de estos organismos proporcionan una superficie para el crecimiento microbiano adherido y, al mismo tiempo, ayudan a mantener las propiedades hidráulicas del filtro y promueve la descomposición de toxinas en las aguas residuales. Entre las especies elegidas más usadas, según los objetivos de fitorremediación por ser sensibles e hiperacumuladoras de contaminantes, se encuentran la *Phragmites australis* (carrizo), *Cyperus papyrus* (papiro o cípero), *Typha sp.* (totoras), *Eichhornia crassipes* (camalote), *Juncus sp.* (junco), *Lemna sp.* (lentejas de agua), *Canna sp.* (achira), *Salvinia biloba* (helechito de agua) y *Pistia stratiotes* (repollito de agua), *Azolla sp.* (helechito de agua) (Kataki y col., 2021).

Algunos trabajos de investigación han evaluado la eficiencia de HA en la remoción de contaminantes. En un trabajo de investigación, llevado a cabo por Gutiérrez-Sarabia y col. (2004), se utilizaron dos especies de macrófitas, *Typha dominguensis* (TD) y *Typha latifolia* (TL), sustrato de grava y se evaluaron dos tiempos de residencia hidráulica (TRH) de 24 y 48 horas. Cuando el tiempo de retención fue de 24 horas, TL obtuvo mayor eficiencia removiendo coliformes totales (CT), enterococos y *Salmonella*, donde las eficiencias fueron de 77, 59 y 84%, respectivamente. Además, evaluaron el desempeño de HA de flujo subterráneo a gran escala para tratar las aguas residuales de mataderos, obteniéndose niveles de remoción del 91% de la DBO₅, 89% de la DQO y 85% de SST. Este

tipo de sistemas logró tener una eficaz reducción de CT y eliminación de otros patógenos tales como *Vibrio cholerae*, *Salmonella* y *Shigella* (Gutiérrez-Sarabia et al., 2004). Por otro lado, Keerthana & Thivyatharsan (2018) utilizaron un HA construido con grava y arena como sustratos, y la planta *Typha latifolia* como macrófita, logrando una máxima eficiencia de eliminación para los parámetros de fosfato, DQO, DBO5, nitrato, TDS y SST, nitrato y fosfato fue del 85,8%, 77,5%, 93,3%, 68%, 71,3% y 88,7% respectivamente. El desempeño de los HA utilizados para tratar efluentes porcinos está ligado a factores como la temperatura, el tiempo de retención hidráulica (TRH), la composición, la vegetación y el tipo de flujo, obteniendo mejores eficiencias al operar con temperaturas de 22 - 30 °C, TRH entre 7 y 14 días y flujo subsuperficial. Los HA como tratamiento secundario o terciario de efluentes porcinos presentan altas eficiencias de remoción de DQO, NT y PT, sin embargo, su aplicación como única etapa no implica el cumplimiento de las normativas requeridas para descarga en cuerpos receptores (De la Mora-Orozco y col., 2018).

En este contexto, el presente proyecto apunta a desarrollar y optimizar una tecnología alternativa para el tratamiento de efluentes líquidos generados por frigoríficos porcinos ubicados en las ciudades de Reconquista, Avellaneda y zonas aledañas de la provincia de Santa Fe. Especialmente se dirige a las pequeñas empresas frigoríficas que aún no realizan ningún tipo de tratamiento a sus efluentes o que aún no encuentran soluciones que se adapten a sus necesidades técnicas y económicas. El mismo, se enfocará en el estudio de la implementación de procesos de fitorremediación utilizando especies de macrófitas originarias de la región, con el objeto de desarrollar y ofrecer soluciones alternativas utilizando tecnologías económicas, autosustentables y de muy fácil operabilidad. Esto permitiría poder alcanzar valores adecuados de especificación de vuelco de efluentes de acuerdo a lo exigido por la normativa provincial.

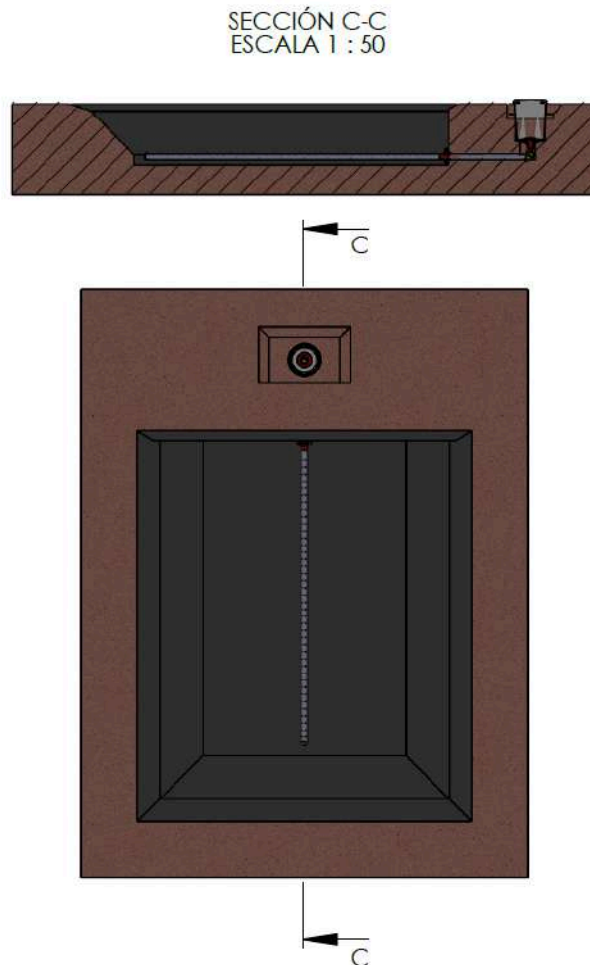
Cabe destacar, que las actividades a realizar en el presente proyecto son relevantes a nivel provincial, dado que las instituciones involucradas en el desarrollo de las mismas, como el Centro Universitario Reconquista-Avellaneda (CU-RA)-UNL y las industrias porcinas de zonas aledañas, se hallan estratégicamente ubicados dentro del territorio de un humedal, el más extenso de nuestro país, protegido bajo la figura de Sitio Ramsar denominado Jaaukanigás (“gente del agua”). Un humedal, según el convenio Ramsar, es una zona de la superficie terrestre que está temporal o permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos del ecosistema. Comprenden una amplia variedad de hábitats de una profundidad no superior a seis metros en marea baja, así como los humedales artificiales, tales como los estanques de tratamiento de aguas residuales y los embalses (Oficina de la Convención Ramsar 2004).

5.2 - Estado de desarrollo del grupo con respecto al tema:

El tema propuesto en el presente proyecto forma parte de la cátedra “Tratamiento de Efluentes”, asignatura que se dicta en el Centro Universitario Reconquista Avellaneda (CU-RA)-UNL y es obligatoria para el Ciclo de Licenciatura en Ciencias y Tecnología de los Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química (UNL). Dentro de la misma, se diseñó y ejecutó un HA de flujo subsuperficial en el predio del CU-RA con objetivos didácticos. El mismo se puso en funcionamiento para el tratamiento de muestras de efluentes industriales recibidas por los Laboratorios de Servicios a Terceros del CU-RA. Cabe destacar, que estos laboratorios reciben y analizan semanalmente muestras de efluentes industriales y municipales de la zona, de febrero a diciembre de cada año. Para las determinaciones realizadas, generalmente se utilizan volúmenes inferiores a los colectados durante el muestreo en las industrias, por lo que luego de analizados quedan sobrantes que constituyen un problema de disposición y tratamiento debido a que el CU-RA se halla emplazado en una zona sin colectores de desechos cloacales y, además los efluentes

cloacales de la ciudad de Reconquista no poseen tratamiento alguno antes de su vuelco al afluente del río Paraná. Por otro lado, entre las ciudades de Reconquista y Avellaneda, se encuentra el Arroyo del Rey, en cuyo cauce vuelcan sus efluentes las industrias de ambas ciudades. Este arroyo es de régimen de alimentación pluvial, por lo tanto las exigencias de volcamiento son más estrictas. Por este motivo, actualmente los municipios de ambas ciudades se hallan abocados a un proyecto denominado Saneamiento Integral del Arroyo del Rey, para recuperar las condiciones naturales del arroyo.

En este contexto, y frente a la necesidad de buscar alternativas de saneamiento de efluentes, se propuso entonces como alternativa la construcción y evaluación de un humedal artificial de “flujo subsuperficial horizontal”. El mismo se construyó dentro del predio del CU-RA y se ubicó espacialmente en la esquina noreste del mismo. Las dimensiones de la excavación realizadas fueron: 0,8 m de profundidad promedio, 2,5 m de longitud, 1,8 m de ancho, pendiente de taludes 2:1 y pendiente de fondo 1%. Para el recubrimiento del fondo de excavación se utilizó una membrana impermeabilizadora agrotileno de 200 micrones de espesor. Luego, se colocaron dos sustratos combinados en el fondo del humedal para soporte de las macrófitas enraizadas. En la parte inferior, arena fina seleccionada con un diámetro de partícula del orden de 0.2 mm con un espesor de 10 cm, seguida de una capa de piedra partida para construcción de 10 cm de espesor con un diámetro promedio de partícula de 20 mm. Para la distribución eficiente de los efluentes líquidos dentro del humedal se usó un caño ranurado de PVC de 40 mm con una longitud similar a la del fondo del humedal. El diseño y proceso constructivo se muestran en las **Fig. 2 a 5**.



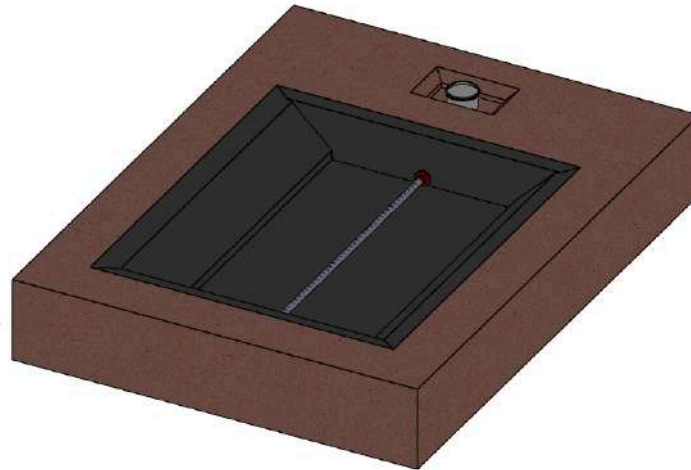


Figura 2. Diseño del humedal artificial (HA).



Figura 3. Proceso de construcción del HA.



Figura 4. Implantación de macrófitas recolectadas en el HA.



Figura 5. Aclimatación de macrófitas en el HA.

El HA se conformó por una comunidad de diferentes especies de macrófitas obtenidas del humedal natural Jaaukanigás, en las inmediaciones del puerto de la ciudad de

Reconquista. Posteriormente a la construcción del mismo, fueron implantadas para visualizar la adaptación de las especies a las nuevas condiciones ambientales. Cabe destacar, que el criterio de selección de estas plantas, flotantes y/o enraizadas, se realizó de acuerdo a las respuestas de las mismas a los cambios ambientales y otras características. Según la bibliografía consultada, el tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas flotantes es preferible porque tiene una alta tasa de crecimiento, es fácil de mantener y fácil de recolectar después del tratamiento (Tel-Or y Forni, 2011). En cambio, las especies enraizadas pueden facilitar el muestreo por su inmovilidad y dar resultados complementarios (Tagliaferro, 2020). Por lo tanto, como macrófita enraizada se sembraron *Typha dominguensis* y como flotantes *Azolla rubra*, *Salvinia biloba*, *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes*, *Sagittaria montevidensis*, *Pontederia rotundifolia*, *Nymphoides indica*, *Ludwigia peploides* y *Lemna sp.* Algunas se han aclimatado bien al humedal, mientras que la especie *Salvinia biloba* resultó muy invasiva y por ese motivo se decidió extraerla del HA. Para su operación y mantenimiento, se planificó la saturación total del sustrato con agua proveniente de la red, sin adicionar los efluentes a tratar para promover el desarrollo de las macrófitas en el humedal. Luego, con el objetivo de registrar las condiciones óptimas de aclimatación de las macrófitas, se determinaron algunos parámetros fisicoquímicos obteniéndose para cada uno el siguiente rango de valores: pH (5-7,3), conductividad (88-168 microS/cm), DQO (2-3 mg/L), NT (0,56-3,08 mg/L), N-NH₃ (0,22-0,4 mg/L), SST(5- 10 mg/L), Oxígeno disuelto (3,5-5,6 mg/L). En este contexto, los conocimientos generados en estos ensayos preliminares dieron lugar al diseño de la presente propuesta la cual, pretende utilizar el HA ya construido en el CU-RA como unidad piloto, para optimizar y evaluar la capacidad de fitorremediación del mismo utilizando efluentes derivados de la industria frigorífica porcina.

5.2.1 Experiencias y capacidades de las personas que conforman el grupo y que van a permitir llevar a cabo el proyecto.

Cabe destacar, tal como se indicó anteriormente, que los recursos humanos que forman parte del presente proyecto pertenecen a la cátedra de Tratamiento de Efluentes del CU-RA (UNL). Este grupo de trabajo ha llevado a cabo el diseño, construcción y puesta a punto de un HA con el objetivo de tratar efluentes de la industria frigorífica. La Profesora Licenciada en Química Alicia N. Guibert, docente de la cátedra de Tratamiento de Efluentes y responsable del Laboratorio de Servicios a Terceros (CU-RA) desde hace más de 20 años, posee amplia experiencia en el análisis de efluentes industriales. Como responsable del Laboratorio de Servicios a Terceros ha firmado numerosos convenios con empresas, municipios y cooperativas de la zona que tienen plantas de tratamiento de efluentes para realizar monitoreos de las mismas desde el año 1994. Además, ha formado parte del trabajo de ampliación de plantas de tratamiento de efluentes, mediante la realización de análisis y asesoramiento sobre requisitos necesarios para establecer las condiciones de volcamiento. Es relevante resaltar además que ha firmado un convenio y contrato reglamentario con el Ministerio de Medio Ambiente (Santa Fe) en el año 2016, para la realización de asistencia técnica mediante determinaciones analíticas sobre muestras de sólidos, efluentes líquidos, muestras líquidas de cursos superficiales y agua potable, provistas por el ministerio y además el asesoramiento y formación de recursos humanos.

La Profesora Ingeniera Ambiental Paula Firmán, también docente de la cátedra de Tratamiento de Efluentes, se desempeña como profesional asesor externo de industrias de la zona. Cuenta con experiencia en análisis, diseño y tratamiento de efluentes líquidos, así como en proyectos de investigación como participante en el Proyecto en Red CAI+D 2009-3 de la Universidad Nacional del Litoral, donde se enfocó en estudiar tratamientos biológicos alternativos para efluentes de la industria cervecera. Además, tiene una amplia experiencia laboral en la industria, destacando su trabajo con frigoríficos y feed lots en toda la provincia de Santa Fe. Ha realizado evaluaciones de impacto ambiental y gestión de residuos para

empresas del sector, contribuyendo a la implementación de prácticas sustentables en estas industrias clave. Su compromiso con la divulgación científica se evidencia en su participación en proyectos de extensión universitaria y en la organización de actividades de divulgación científica para promover la conciencia ambiental en la comunidad.

Por otra parte, el proyecto cuenta con la colaboración de una adscripta en Investigación, la Profesora Doctora en Ciencias Biológicas Gisela Schaumburg, quien posee experiencia en temáticas de gestión ambiental. Ha participado junto a ONG y agrupaciones de las ciudades de Avellaneda y Reconquista (Santa Fe) en proyectos y actividades de educación ambiental para distintos niveles educativos. Se ha capacitado y continúa, en temáticas de gestión ambiental.

Finalmente, la responsable del proyecto la Doctora en Cs. y Tec. de Alimentos María Laura Deseta, es Docente e Investigadora y actualmente se desempeña en el Área de Biocoloides y Nanotecnología, del Instituto de Tecnología de Alimentos, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral (ITA-FIQ-UNL). Ha iniciado su carrera docente en el CU-RA durante los años 2013-2021, adquiriendo allí experiencia en el análisis fisicoquímico y microbiológico de alimentos, aguas y efluentes llevadas a cabo en los Laboratorios de Servicios a Terceros. Además, posee experiencia laboral en industrias y laboratorios de control de calidad relacionados a la tecnología de alimentos. Posteriormente, a lo largo de su carrera doctoral se ha especializado en el diseño y ejecución de trabajos de investigación, en el manejo de técnicas y equipos específicos, así como en la escritura de artículos científicos. Por lo tanto, su participación en el proyecto como responsable, aportará por un lado asesoramiento en el diseño metodológico del trabajo de investigación y académico en lo que respecta al análisis, interpretación de resultados y escritura de trabajos científicos para su divulgación en diferentes eventos.

En consecuencia, teniendo en cuenta la amplia experiencia de las integrantes del grupo de investigación y el marco científico-tecnológico descrito, se considera que el desarrollo del presente proyecto es factible y que brindará conocimientos fundamentales y aplicados que permitan el desarrollo de una tecnología alternativa para el tratamiento de efluentes derivados de la industria porcina.

6 - OBJETIVOS

6.1 - Objetivos Generales:

Desarrollar y optimizar tecnologías de fitorremediación mediante la construcción de un humedal artificial (HA) basado en macrófitas autóctonas para el tratamiento y valorización de efluentes líquidos de industrias frigoríficas.

6.2 - Objetivos Específicos:

6.2.1. Poner en funcionamiento el humedal artificial construido previamente para el tratamiento de efluentes líquidos derivados de la industria frigorífica porcina.

6.2.2. Determinar y evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes presentes en el efluente a tratar en el HA, analizando los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tales como Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Carbono Orgánico Total (COT), Nitrógeno Total (NT), Fósforo Total (PT), Sulfuros (S=) y coliformes totales y termotolerantes respectivamente. Se medirán los cambios en las concentraciones de estos contaminantes antes y después de que el agua residual pase a través del humedal.

6.2.3. Evaluar el desempeño de fitorremediación de las especies macrófitas autóctonas

utilizadas mediante el análisis de parámetros biológicos poblacionales (abundancia poblacional) y de crecimiento vegetativo (biomasa, tasa de crecimiento: altura de los ejemplares, área foliar, etc).

6.2.4. Evaluar la relación entre la biomasa y la eficiencia de remoción de contaminantes.

6.2.5. Optimizar la densidad poblacional de plantas macrófitas mediante técnicas de cosecha selectiva para lograr un equilibrio entre la eficiencia de remoción de contaminantes y la salud del ecosistema acuático.

7 - METODOLOGÍA

7.1 - Plan de actividades:

7.1.1. **Actividad 1 (A1): Puesta en funcionamiento del HA para el tratamiento de efluentes líquidos derivados de la industria frigorífica porcina.** La puesta en funcionamiento consistirá en la adición del sustrato, la implantación y aclimatación de macrófitas en el HA construido previamente tal como se indicó en la sección 5.2. Como sustrato se utilizará agua proveniente de la red a pH entre 5-8,5. De acuerdo a los resultados preliminares obtenidos, se implantarán 3 tipos de macrófitas: una de tipo enraizada (*Typha domingensis*) y dos flotantes (*Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*) pertenecientes al humedal natural Jaaukanigás. A continuación, periódicamente durante 1 mes se evaluará el crecimiento de las macrófitas en el HA (vigor, desarrollo y cobertura de aproximadamente el 30% de la superficie total). Además, para favorecer solamente el desarrollo de las macrófitas implantadas, periódicamente se realizará una limpieza del mismo eliminando otras estructuras vegetativas que puedan crecer en el HA. Además, una vez lograda la aclimatación de las mismas se analizará el agua del humedal para registrar las condiciones óptimas de crecimiento. Para ello, se determinará: pH, conductividad, DQO, NT, N-NH₃, SST y Oxígeno disuelto.

7.1.2. **Actividad 2 (A2): Determinación y evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes presentes en el efluente a tratar en el humedal.** Para evaluar la eficacia del tratamiento de fitorremediación en el HA, se llevarán a cabo determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas al agua del humedal antes del vertido del efluente previamente caracterizado, y al efluente industrial antes y después del tratamiento de fitorremediación. Las mismas se describen a continuación:

- Agua del humedal: Se tomarán muestras inicialmente, antes del vertido del efluente, y luego cada 15 días durante los primeros 3 meses. Posteriormente, el muestreo se realizará de forma mensual hasta finalizar el proyecto. Se analizarán los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, coliformes totales y coliformes termotolerantes. Adicionalmente, si es relevante, se determinará el Carbono Orgánico Total (COT), Nitrógeno Total (N total), Fósforo Total (P total) y sulfuros.

- Efluente porcino (antes y después del tratamiento): Se tomarán muestras del efluente sin tratar antes de cada vertido al humedal y luego del tratamiento. Se analizarán los mismos parámetros que para el agua del humedal.

Las determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas se realizarán siguiendo los protocolos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed. (2017): Demanda Química de Oxígeno (técnica 5220 C); Demanda Biológica de Oxígeno (técnica 5210 C); Sólidos Suspendidos Totales (técnica 2540 D); Nitrógeno Total (técnica 4500 N); Fósforo Total, Sulfuros (técnica 4500 S=); Coliformes Totales (técnica 9921 B) y Coliformes

8. Metas e indicadores que se proponen para la evaluación intermedia y ex post del proyecto.

La conformación del grupo de trabajo garantiza un enfoque multidisciplinar, a través de la integración de disciplinas como la Microbiología, la Química, la Biotecnología, la Ingeniería de Procesos y la Ingeniería Ambiental. De este modo, se espera que las contribuciones guarden un equilibrio entre aspectos básicos y tecnológicos, generando conocimientos cuya aplicación abra posibilidades de encarar emprendimientos basados en ellas.

Las metas e indicadores que se proponen son:

- Cumplimiento de los plazos previstos en el cronograma.
- Análisis profundo de los resultados obtenidos en función de lo reportado en la literatura.
- Evaluación rigurosa de la factibilidad técnica y la viabilidad económica y ambiental de los procesos propuestos.
- Redacción y protección de los resultados originales y publicación de trabajos originales en revistas de circulación internacional cuando sea posible.
- Divulgación parcial y periódica de los resultados obtenidos en diferentes reuniones científicas (congresos, jornadas, seminarios) de alcance regional, nacional e internacional.
- Posible vinculación y/o transferencia al sector privado.
- Elaboración de programas o seminarios de capacitación sobre el manejo operativo de sistemas de tratamiento de efluentes orientados a supervisores y operarios industriales.
- Formación de recursos humanos mediante la incorporación de estudiantes de grado en el marco de actividades de I+D (pasantes, adscriptos, becarios UNL o becas de iniciación de otras instituciones, tesistas, etc.).

Indicadores complementarios:

a) Formación de recursos humanos

Los integrantes del grupo de trabajo son docentes de la cátedra de Tratamiento de Efluentes (CU-RA. UNL) del ciclo de Licenciatura en Ciencias y Tecnología de los Alimentos (LCTA) (FIQ. UNL). En este sentido, el desarrollo del proyecto además de enriquecer el dictado de la asignatura, permitirá la incorporación de adscriptos en investigación, pasantes en los laboratorios y una nueva línea de investigación, que permitirá realizar trabajos de tesina de LCTA. Se prevé la colaboración de los alumnos que cursen la asignatura, tal como se hizo en la construcción del humedal artificial en el predio del Centro Universitario Reconquista Avellaneda.

b) Transferencia de los resultados

- Entre otros posibles adoptantes, los resultados obtenidos podrían ser aplicados a :
- Otros tipos de frigoríficos.
 - Cervecerías artesanales.
 - Industrias lácteas.
 - Industrias aceiteras.
 - Plantas de tratamiento de efluentes cloacales .
 - Otro tipo de industrias.

9. Lugar de trabajo, equipamiento disponible y acceso a bibliografía. (*Valorar globalmente la disponibilidad de recursos e información para el desarrollo del proyecto*)

Las actividades experimentales del presente proyecto serán llevadas a cabo principalmente en dependencias del CU-RA (UNL). Los espacios específicos dentro del mismo son dos: un área exterior del predio donde está instalado el HA subsuperficial excavado en el suelo, impermeabilizado y señalizado, rodeado de arbolado que hace de barrera forestal por posible generación de olores así como también protección de vientos y la exposición al sol. El otro espacio destinado al proyecto es el Laboratorio de Servicios a Terceros a cargo de las Lic. Alicia Guibert (determinaciones fisicoquímicas) y Melina Peteán (determinaciones microbiológicas). Dicho laboratorio cuenta con experiencia en diferentes técnicas de evaluación calidad de agua, efluentes líquidos y caracterización de biomasa, desarrollada durante más de tres décadas.

Los laboratorios de servicios a terceros cuentan con la infraestructura adecuada para los análisis planteados en el proyecto. El área de fisicoquímica consta de: laboratorio general, sala caliente, sala de instrumentos, laboratorio de inflamables, archivo y oficina. El área microbiológica consta de: sala de siembra, laboratorio, sala fría, sala de microscopía y sala caliente.

Equipamiento principal disponible en los Laboratorios de Servicios a Terceros (CURA-UNL):

Balanzas analíticas (Mettler-Toledo AB204, OHAUS Adventurer AR2140), Reactor de DQO (Reactor de digestión Hach DRB200), Colorímetro (Hach DR/890), Espectrofotómetro portátil (Hach DR 1900), Estufa de DBO, Digestor semi automático (DK 6, VELP Scientifica), Destilador (UDK 129, VELP Scientifica), Multiparamétrico (AquaCombo HM3070, Trans Instruments), Extractor SOXTERM (Gerhardt), Agitador magnético, Turbidímetro (TB1, VELP Scientifica), Estufas de secado (2), Manta calefactora múltiple (DALVO Instrumentos), Mufla/Horno eléctrico (ORL), Estufas de esterilización (2), Estufas de cultivo (3), Autoclave eléctrica, Autoclave a gas, Heladeras (4), Microscopios (5), Bomba de vacío, Contador de colonias.

La biblioteca del Centro Universitario Reconquista Avellaneda integra la red de bibliotecas de la UNL.

10. Referencias bibliográficas

Abasiofiok, M., Shelton, E., 2018. Continuous flow-constructed wetlands for the treatment of swine wastewater. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15, 1369. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071369>.

Adyel, T.M., Oldham, C.E., Hipsey, M.R., 2017. Storm event-scale nutrient attenuation in constructed wetlands experiencing a Mediterranean climate: a comparison of a surface flow and hybrid surface-subsurface flow system. *Sci. Total Environ.* 598, 1001–1014.

APHA, 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Amer. Publ. Health Assoc, New York.

Avellán, T., Nagabhatla, N., Jalan, I., Danielle Liao, D., 2022. Integrating circularity to achieve sustainability: Examples of various wastewater treatment systems. In: Stefanakis, A., Nikolaou, I. (Eds.), *Circular Economy and Sustainability: Environmental Engineering*. Elsevier, pp. 21–35.

Balmaceda, J., & Ortiz, R. (2016). "Eficiencia de sistemas de lagunas para el tratamiento de efluentes en mataderos." Informe Técnico del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Santa Fe.

Cabrera, E., Fernández, N., & Yañez, A. (2015). "Gestión de efluentes en mataderos porcinos." *Revista de Ciencia y Tecnología en Producción Animal*, 9(2), 45-55.

Coban, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Spott, O., Martienssen, M., Jetten, M.S.M., Knoeller, K., 2015. Nitrogen transforming community in a horizontal subsurfaceflow constructed wetland. *Water Res.* 74, 203–212.

De La Mora-Orozco, C., González-Acuña, I. J., Saucedo-Terán, R. A., Flores-López, H. E., Rubio-Arias, H. O., & Ochoa-Rivero, J. M. (2018). Removing organic matter and nutrients from pig farm wastewater with a constructed wetland system. *International journal of environmental research and public health*, 15(5), 1031.

Di Luca, G.A., Maine, M.A., Mufarrege, M.M., Hadad, H.R., Pedro, M.C., Sanchez, G.C., Caffaratti, S.E., 2017. Phosphorus distribution pattern in sediments of natural and constructed wetlands. *Ecol. Eng.* 108, 227–233.

dos Santos, G. B., de Souza, E. B., de Jesus Souza, J., da Invenção, F. S., Sobrinho, É. L., & de Oliveira Sousa, L. R. (2020). Bioquímica ambiental: as macrófitas aquáticas como fitorremediadoras e bioindicadoras de poluentes. *Revista Macambira*, 4(2), e042004-e042004.

Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., Von Sperling, M., 2017. *Treatment Wetlands*, Vol. 7. IWA Publishing.

Dunne, E.J., Culleton, N., O'Donovan, G., Harrington, R., Olsen, A.E., 2005. An integrated constructed wetland to treat contaminants and nutrients from dairy farmyard dirty water. *Ecol. Eng.* 24 (3), 219–232.

Franco, R., & Panichelli, D. (2013). Conceptos básicos para definir estrategias del manejo de efluente porcino. Sección porcina, aviar y feedlot, tercer panel. EEA Marcos Juárez–INTA, 1.

Giorgi, A., Domínguez, E., & Gómez, N. 2023. Técnicas de monitoreo para ecosistemas fluviales de la Argentina. Consejo Nacional Investigaciones Científicas Técnicas - CONICET. ISBN 978-950-692-211-5 1.

Gutiérrez-Sarabia, A., Fernández-Villagómez, G., Martínez-Pereda, P., Rinderknecht-Seijas, N., & Poggi-Varaldo, H. M. (2004). Slaughterhouse Wastewater Treatment In a Full-scale System With Constructed Wetlands. *Water Environment Research*, 76(4), 334-343. <https://doi.org/10.2175/106143004X141924>

Hunt, P.G., Szogi, A.A., Humenik, F.J., Rice, J.M., Matheny, T.A., Stone, K.C., 2002. Constructed wetlands for treatment of swine wastewater from an anaerobic lagoon. *Trans. ASAE* 45 (3), 639. <https://doi.org/10.13031/2013.8827>

Kataki, S., Chatterjee, S., Vairale, M. G., Dwivedi, S. K., & Gupta, D. K. (2021). Constructed wetland, an eco-technology for wastewater treatment: A review on types of wastewater treated and components of the technology (macrophyte, biofilm and substrate). *Journal of Environmental Management*, 283, 111986.

Keerthana, K., & Thivyatharsan, R. (2018). Constructed wetland for slaughterhouse wastewater treatment (1). 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.4038/agriest.v12i1.47>

Lee, C.G., Fletcher, T.D., Sun, G., 2009. Nitrogen removal in constructed wetland systems. *Eng. Life Sci.* 9 (1), 11–22.7

Lin, Y.F., Jing, S.R., Lee, D.Y., Chang, Y.F., Chen, Y.M., Shih, K.C., 2005. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. *Environ. Pollut.* 134, 411–421.

Lund, M., Lavery, P. & Froend, R. (2002) Bacteria and biofilm (periphyton) in constructed wetlands treating highly coloured nutrient-enriched storm water, *SIL Proceedings*, 1922-2010, 28:3, 1558-1562, DOI: 10.1080/03680770.2001.11902718

MAGyPA, 2021. Informe anual de potencial de biogás Porcinos. Maine, M.A., Hadad, H.R., S´anchez, G.C., Di Luca, G.A., Mufarrege, M.M., Caffaratti, S.E., Pedro, M.C., 2017. Long-term performance of two free-water surface wetlands for metallurgical effluent treatment. *Ecol. Eng.* 98, 372–377.

Maine, M.A., Sanchez, G.C., Hadad, H.R., Caffaratti, S.E., Pedro, M.C., Mufarrege, M.M., Di Luca, G.A., 2019. Hybrid constructed wetlands for the treatment of wastewater from a fertilizer manufacturing plant: Microcosms and field scale experiments. *Sci. Total Environ.* 650, 297–302.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina. (2020). "Guía para el manejo de efluentes en la industria cárnica.", 23-50.

Morandera, N.S., P. Kandus. 2015. Multi-scale analysis of environmental constraints on macrophyte distribution, floristic groups and plant diversity in the Lower Paraná River floodplain. *Aquatic Botany* 123, 13-25.

Mufarrege, M.M., Di Luca, G.A., Hadad, H.R., Maine, M.A., 2021. Exposure of *Typha domingensis* to high concentrations of multi-metal and nutrient solutions: Study of tolerance and removal efficiency. *Ecol. Eng.* 159, 106118.

Müller, R.A., Moormann, H., 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnol. Adv.* 22, 93–117. USEPA, 1994. Method 2002. Sample Preparation Procedure for Spectro-Chemical Determination of Total Recoverable Elements. Rev. 28. Environmental Protection Agency. Washington DC.

National Center for Biotechnology Information (NCBI). "Characteristics of slaughterhouse wastewater." *Environmental Monitoring and Assessment.* 112-129.

Narváez, J. F. (2020). Uso de humedales artificiales para el tratamiento de efluentes de ganado porcino: Revisión de Literatura. <https://bdigital.zamorano.edu/items/3035afba-cad9-4ad8-9a10-47edb73657b8>

Nivala, J., Boog, J., Headley, T., Aubron, T., Wallace, S., Brix, H., Mothes, S., van Afferden, M., Müller, R.A., 2019. Side-by-side comparison of 15 pilot-scale conventional and intensified subsurface flow wetlands for treatment of domestic wastewater. *Sci. Total Environ.* 658, 1500–1513.

Oficina de la Convención Ramsar. 2004. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales. Oficina de la Convención Ramsar, Gland, Suiza.
http://www.ramsar.org/lib/lib_handbooks_e.htm.

Rodier, J. Análisis de las aguas, aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega. Barcelona 1981.

Rodríguez, M., & Gómez, L. (2018). "Tratamiento de efluentes en la industria cárnica." *Revista de Tecnología Ambiental*, 12(3), 72-75.

Sánchez-González, A., González, L. M., & Contreras-Ramos, A. (2007). Técnicas de recolecta de plantas y herborización. *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad*, 123-133.

Sandoval Herazo, L., Zurita, F., Nani, G., Del Angel-Coronel, O., Aguilar Aguilar, F.A., 2021. Treatment of swine effluent mixed with domestic wastewater and vegetation development in monoculture and polyculture horizontal subsurface flow wetlands

Schierano, M.C., Maine, M.A., Panigatti, M.C., 2017. Dairy farm wastewater treatment using horizontal subsurface flow wetlands with *Typha domingensis* and different substrates. *Environ. Technol.* 38, 192–198.

Schierano, M.C., Panigatti, M.C., Maine, M.A., Griffa, C.A., Boglione, R., 2020. Horizontal subsurface flow constructed wetland for tertiary treatment of dairy wastewater: removal efficiencies and plant uptake. *J. Environ. Manag.* 272, 111094.

Spieles, D.J., Mitsch, W.J., 2000. The effects of season and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetlands: a comparison of low- and high nutrient riverine systems. *Ecol. Eng.* 14, 77–91.

Stefanakis, A., Akratos, C.S., 2016. Removal of pathogenic bacteria in constructed wetlands: Mechanisms and efficiency. *Manag. Environ. Contam.* 4, 327–346.

Tagliaferro, M. 2020. Uso de peces y macrófitas como indicadores. In: *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina. Bases para el análisis de la integridad ecológica*. Eds.: E. Domínguez, A. Giorgi & N. Gómez. Eudeba, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización* (3ra ed., Vol. II). McGraw-Hill.

Tel-Or, E. and Forni, C. (2011) Phytoremediation of Hazardous Toxic Metals and Organics by Photosynthetic Aquatic Systems. *Plant Biosystems*, 145, 224-235.
<http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2010.509944>.

UNESCO. (2021). El valor del agua: Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021. UNESCO. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/es>

Vymazal, J., 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Sci. Total Environ.* 380, 48–65.

Vymazal, J., 2013. The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal. *Water Res.* 47, 4795–4811.

Wu, S., Kuschk, P., Brix, H., Vymazal, J., Dong, R., 2014. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: a nitrogen and organic matter targeted review. *Water Res.* 57, 40–55.

Wu, S., Wallace, S., Brix, H., Kuschk, P., Kipkemoi, W., Masi, F., Dong, R., 2015. Treatment of industrial effluents in constructed wetlands: challenges, operational strategies and overall performance. *Environ. Pollut.* 201, 107–120.

Zhai, J., Rahaman, M.H., Chen, X., Xiao, H., Liao, K., Li, X., Duan, C., Zhang, B., Tao, G., John, Y., Vymazal, J., 2016. New nitrogen removal pathways in a full-scale hybrid constructed wetland proposed from high-throughput sequencing and isotopic tracing results. *Ecol. Eng.* 97, 434–443.

Zhang, D.Q., Jinadasa, K.B., Richard, M.G., Liu, Y., Ng, W.J., Tan, S.K., 2014. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries: a review of recent developments (2000- 2013). *J. Environ. Manag.* 141, 116–131.

Zhu, G.B., Jetten, M.S.M., Kuschk, P., Ettwig, K.F., Yin, C.Q., 2010. Potential roles of anaerobic ammonium and methane oxidation in the nitrogen cycle of wetland ecosystems. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 86 (4), 1043–1055.