

Título: Re-uso de efluentes industriales pesqueros para riego: rol y potencial biotecnológico de las comunidades bacterianas oxidadoras de amoníaco.

Autora: Lic. María Belén Vallejos

Directora de Tesis: Dra. Nelda Lila Olivera

Co-Directora de Tesis: Dra. Magalí Silvina Marcos

Universidad: Universidad Nacional del Comahue

Año: 2025

Resumen

En las últimas décadas el problema de la escasez de agua dulce se ha intensificado a nivel global, agravándose por el cambio climático y el aumento de la demanda de este recurso para actividades humanas. Ante este escenario, resulta indispensable avanzar en el desarrollo de estrategias de reúso de aguas residuales que sean seguras y sostenibles. El reúso de efluentes pesqueros tratados para riego en zonas áridas representa una alternativa interesante que, a pesar de su potencial, ha sido escasamente evaluado. El objetivo general de la presente Tesis fue aportar conocimientos relevantes en relación con el reúso de efluentes pesqueros para riego, a través de la profundización del conocimiento de sus características fisicoquímicas y de la diversidad, actividad y abundancia de las comunidades microbianas procariotas, y de los grupos de bacterias y arqueas oxidadoras de amoníaco (AOB y AOA) presentes en los efluentes y en suelos áridos irrigados con los mismos.

En una primera etapa, se caracterizó fisicoquímica y microbiológicamente el efluente tratado proveniente de una planta de lodos activados de una empresa pesquera de la ciudad de Puerto Madryn, durante una temporada de procesamiento de langostino. Algunas propiedades del efluente indicaron una inadecuada eficiencia del tratamiento (altos valores de grasas y aceites, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, olor, Demanda Química de Oxígeno y recuentos de bacterias coliformes fecales), pudiendo mejorarse mediante ajustes en el sistema de tratamiento empleado. Sin embargo, la persistente salinidad, inherente a los efluentes de la industria pesquera y aumentada aún más por el uso de agua subterránea salobre, representa un desafío para el reúso directo en riego. La Conductividad Eléctrica (CE) de los efluentes varió entre $12,9 \pm 0,15$ y $15,22 \pm 0,12$ mS/cm, que de acuerdo a las directrices de la provincia de Chubut implica un grado de restricción severo para su uso en riego ($\text{CE} > 3$ mS/cm). La comunidad procariota del tanque de aireación de la planta de lodos activados estuvo dominada por filos típicos de aguas residuales, aunque su composición varió con la calidad del efluente. Aun cuando la

concentración de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ de los efluentes fue elevada ($> 70 \text{ mg/l}$), la abundancia de AOB y AOA fue baja y los escasos taxones detectados correspondieron a bacterias del género *Nitrosomonas* y arqueas no clasificadas de la familia *Nitrososphaeraceae*, que están entre los oxidadores de amoníaco que presentan mayor tolerancia a la alta salinidad en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Posteriormente, se evaluó el impacto del vertido de efluentes sobre el suelo y la vegetación en un sitio natural del Monte Patagónico. Para ello, se compararon suelos expuestos al vuelco con suelos cercanos no afectados (utilizados como sitio control). El vertido de efluentes se asoció al incremento significativo de la humedad, CE, y concentraciones de C inorgánico y $\text{NH}_4^+\text{-N}$ del suelo, como también de la cobertura vegetal principalmente de especies halófitas. Los cambios en la estructura de la comunidad procariota del suelo entre ambos sitios estuvieron significativamente relacionados con dichas variables. Además, el vertido de efluentes promovió la proliferación de filos copiótrofos como Firmicutes y Bacteroidetes, y redujo la abundancia de filos oligótrofos como Acidobacteria, Chloroflexi y Nitrospirae. El vertido de efluentes pesqueros también se asoció con una reducción en la diversidad de la comunidad procariota como de los grupos oxidadores de amoníaco, y una mayor variabilidad en la estructura de la comunidad de AOB y AOA, que reflejó la heterogeneidad observada a nivel de la comunidad procariota total y de las propiedades físicoquímicas del suelo.

Los efectos del riego con efluentes pesqueros se evaluaron en microcosmos con suelo y mantillo vegetal, bajo condiciones controladas, que fueron regados (16 semanas) con dos diluciones de efluente pesquero tratado, cuyas CE fueron 2,7 y 6 mS/cm. También se incluyó un tratamiento control regado con agua destilada. Los resultados mostraron que, a mayor concentración y CE del efluente, más intensos fueron los aumentos en la CE, Relación de Adsorción de Sodio (sodicidad), contenido de $\text{NH}_4^+\text{-N}$, actividad deshidrogenasa y tasa de nitrificación neta del suelo, junto con una disminución significativa en la diversidad procariota. El riego con efluentes nuevamente promovió la proliferación de filos copiótrofos como Proteobacteria y Bacteroidetes, y redujo la abundancia de grupos oligótrofos como Acidobacteria. En cuanto a los oxidadores de amoníaco, el riego con efluente de alta salinidad provocó un incremento de AOB, y de un OTU tolerante al estrés salino y a altas concentraciones de amonio relacionado con *Nitrosospira briensis* (AOB). También a partir de estos suelos, se logró cultivar un consorcio bacteriano con alta eficiencia de oxidación de amonio integrado por AOB del género *Nitrosomonas* y por otros microorganismos heterótrofos.

En conjunto los resultados obtenidos en esta Tesis contribuyen con información clave para evaluar el reúso para riego de efluentes pesqueros en zonas áridas, y demuestran que, si bien este reúso puede inducir cambios importantes en las comunidades microbianas del suelo, también ofrece oportunidades para su aprovechamiento controlado, por ejemplo, en cultivos halófitos o sistemas hidropónicos. La comprensión del impacto ecológico y funcional del riego con efluentes resulta indispensable para diseñar prácticas sostenibles en regiones con recursos hídricos limitados.