

FACULTAD DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

Universidad Nacional de La Pampa

# **“TAMBOS DEL SE DE LA PAMPA: CARACTERIZACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS Y DE DESECHOS LÍQUIDOS”**

HIDALGO, Agustín

**TESINA PRESENTADA PARA OBTENER  
EL GRADO ACADÉMICO DE  
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

AÑO 2024

## **Prólogo**

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en el Laboratorio de Ecología, PRAMIN, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam, iniciándose el 20/05/2022 bajo la dirección de Pilati, Alberto y bajo la codirección de Poggio Herrero, Ingrid Violeta.

(06/05/2024)

.....

## Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a mi familia piquense y santarroseña, a los que están y a los que ya no, por apoyarme en todo momento en el transcurso de la carrera. También a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por la posibilidad de realizar mis estudios. A cada uno de los docentes y ayudantes de cátedra por los conocimientos brindados y a Alberto Pilati y Violeta Poggio por el acompañamiento y dirección en la realización de la tesis de grado. Además, al comité de tesina por su tiempo dedicado en la evaluación de la presente tesis.

¡A todos ellos, muchas gracias!

(06/05/2024)

.....

## Resumen

Los efluentes generados por los tambos representan un potencial riesgo ambiental, debido a su alto contenido orgánico, pudiendo afectar ecosistemas acuáticos y terrestres. En la provincia de La Pampa, el 90% de los tambos no realiza algún tipo de tratamiento de sus efluentes, incumpliendo con la normativa vigente. Este estudio se centra en la cuenca lechera Zona Sur de La Pampa, con el objetivo de actualizar el conocimiento sobre los tambos, el uso del agua y la calidad de sus efluentes, buscando establecer la necesidad de tratamiento o reutilización. Para ello se encuestaron 24 tambos al azar de los departamentos Guatraché, Atreucó y Hucal sobre las características del establecimiento, el uso del agua, entre otras. Del total de tambos se seleccionaron 9 para determinar la calidad fisicoquímica de los efluentes líquidos, de los cuales se les determinaron el nivel de compuestos nitrogenados, fosforados y la demanda química de oxígeno (DQO). Se graficaron los valores y se los comparó con valores permitidos por legislaciones sobre vuelco de efluentes de provincias productoras de leche. Un tambo promedio produjo 926187 litros de leche por año y utilizó 59 litros de agua por vaca de ordeño por día, siendo el lavado de pisos el mayor uso. El 89% de los compuestos fosforados y DQO y la totalidad de los compuestos nitrogenados superaron los límites permitidos por la legislación. Se sugiere un estudio de la toxicidad de los efluentes para un reúso para riego de cultivos anuales y actualización de la normativa provincial actual.

Palabras clave: efluentes, tambos, calidad, tratamiento, normativa, riesgo ambiental.

## **Summary**

Effluents generated by dairy farms represent a potential environmental risk due to their high organic content, which can affect aquatic and terrestrial ecosystems. In the province of La Pampa, 90% of dairy farms do not carry out any type of treatment for their effluents, thus failing to comply with current regulations. This study focuses on the dairy basin in the Southern Zone of La Pampa, aiming to update knowledge about dairy farms, water usage, and effluent quality, with the goal of establishing the need for treatment or reuse. To achieve this, 24 dairy farms were randomly surveyed in the Guatraché, Atreucó, and Hucal departments regarding establishment characteristics, water usage, among others. Out of the total dairy farms surveyed, 9 were selected to determine the physicochemical quality of liquid effluents, including levels of nitrogenous and phosphorous compounds, and chemical oxygen demand (COD). The values were graphed and compared with permissible values set by legislation on effluent discharge in milk-producing provinces. On average, a dairy farm produced 926,187 liters of milk per year and used 59 liters of water per milking cow per day, with floor washing being the primary use. All nitrogenous compounds exceeded the permissible limits set by legislation, while 89% exceeded limits for phosphorous compounds and COD. A study on effluent toxicity is recommended for potential reuse in irrigation of annual crops, along with updates to current provincial regulations.

**Key words:** Effluents, dairy farms, quality, treatment, regulation, environmental risk.

## Índice

Introducción.....	1
Materiales y métodos.....	3
Área de estudio.....	3
Encuesta.....	4
Muestreo a campo, análisis de las muestras y procesamiento de los resultados.....	5
Resultados.....	6
Caracterización de los establecimientos.....	6
Uso del agua.....	7
Destino de los efluentes.....	7
Análisis químicos.....	7
Discusión.....	9
Conclusión.....	13
Referencias bibliográficas.....	14

## **Introducción**

El agua es un recurso fundamental para la vida humana y las actividades económicas, principalmente en la industria alimentaria. En los tambos, eslabón inicial de la industria láctea, el agua cumple un rol relevante en la salud y nutrición del animal, como elemento de higiene de los animales, instalaciones y equipos (Herrero *et al.*, 2002; Salazar *et al.*, 2003). El agua utilizada en las principales cuencas lecheras de Argentina (provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fe y Córdoba), es desechada en un 69% de los casos en lagunas de disposición final sin tratamiento alguno (Herrero, 2009). La falta de tratamiento de estos efluentes puede crear un importante problema ambiental, si los mismos estuvieran cargados de nutrientes y materia orgánica. En nuestro país este problema adquiere cada vez mayor importancia debido a que desde hace varios años se ha observado una tendencia a la intensificación y concentración de rodeos lecheros, lo que conlleva a una creciente demanda de agua y el aumento de efluentes generados (Nosetti *et al.*, 2002; Herrero *et al.*, 2002).

Las aguas residuales de los tambos, además de contener sustancias ricas en carbono y nutrientes (derivadas de las excretas y restos de leche), también pueden contener otros compuestos (detergentes, desinfectantes, entre otros) que aumentan su impacto en el ambiente receptor (Fyfe *et al.*, 2016; Herrero *et al.* 2009; Martínez-Suller *et al.*, 2010). Por ejemplo, si los efluentes contienen niveles de amonio  $> 0,05$  mg N-NH<sub>4</sub>/L pueden producir toxicidad en peces y otros vertebrados (NRCSW, 2009). Por otro lado, si estas aguas residuales contienen antibióticos u otros productos veterinarios y sus metabolitos excretados y son aplicadas al suelo, pueden observarse múltiples efectos negativos en microorganismos del suelo, inhibición de la germinación y crecimiento de las plantas y, eventualmente llegar a las napas subterráneas (Kuppusamy *et al.*, 2018). De esta manera, los efectos deletéreos pueden observarse tanto en ecosistemas acuáticos como terrestres, dependiendo del volumen, tratamiento y destino de estos efluentes.

De esta manera, la producción de efluentes con alto contenido de nutrientes (y otros productos tóxicos) puede producir un importante desbalance de nutrientes en el ecosistema receptor, sea acuático o terrestre. Es por ello que se sugiere tratar los efluentes antes de ser desechados al suelo o lagunas o ríos. Entre un 50 y 81% de los tambos de las principales cuencas lecheras de Argentina analizados por Herrero (2009) poseen algún tipo de tratamiento para poder ajustarse a la legislación de cada provincia. En La Pampa, en cambio,

un 90% de los tambos estudiados por Larrea *et al.* (2020) consisten en cavas comunes sin tratamiento. Es muy importante destacar que los efluentes de sólo 2 tambos de La Pampa han sido estudiados por Diez (2009) y Di Nasso (2019), pero las autoras no concluyeron acerca de las concentraciones y su relación con los límites permitidos por la legislación pampeana. Sumado a esto, la semiaridez de esta provincia le suma importancia a la sensibilidad de los ecosistemas receptores.

En zonas semiáridas, debido a la limitante de agua en los cultivos, los desechos líquidos de tambos pueden reutilizarse para irrigar cultivos anuales. En general son aplicados en forma diluida a cultivos adyacentes de pocas hectáreas de maíz, avena, trigo o alfalfa. Al ser tan ricos en nitrógeno, los desechos de tambos pueden aplicarse para mejorar los rindes de los cultivos con mayor demanda de nitrógeno (Smith y Chambers, 1993) y promover una mayor biomasa y diversidad microbiana en el suelo (Hawke y Summers, 2006). Sin embargo, una excesiva aplicación de efluentes al suelo puede contaminar las aguas subterráneas con nitratos; inutilizando el recurso para uso potable, como fue comprobado por Harter *et al.*, (2002) en California (EE UU).

En el año 2020, la provincia de La Pampa poseía 22 plantas procesadoras de leche y 133 tambos, la mayoría de estos últimos ubicados en la cuenca lechera Zona Sur (DGEyCLP, 2020). En esta cuenca el problema adquiere particular relevancia debido a que, por sus condiciones agroclimáticas, el agua no es naturalmente abundante (Sánchez *et al.*, 2001). Además, existe la Ley Provincial N°1508, que prohíbe la descarga de todo tipo de efluentes líquidos sin previo tratamiento. Sin embargo, esta ley no establece normativas específicas para el uso del agua, manejo y utilización de efluentes provenientes de tambos lecheros. Es por ello que, es necesario caracterizar los tambos de la zona, no sólo haciendo hincapié en el uso de agua dentro de los tambos (origen, uso y destinos) sino también caracterizar los efluentes para determinar un potencial reúso. Al reutilizar los efluentes de tambos, no sólo se estaría reduciendo el volumen de efluente desechado al ambiente, sino que también se estaría contribuyendo al desarrollo sustentable al revalorizar ese desecho (Diez 2009, 2010 y 2016).

La presente tesina tiene como objetivo realizar un relevamiento (a través de encuestas) a los tambos de la cuenca lechera sur de La Pampa, con el fin de actualizar cómo se realiza la actividad. Particularmente se hizo hincapié en caracterizar los establecimientos, determinar el uso de agua dentro de los mismos, y también evaluar si los efluentes líquidos de tambos seleccionados superan el límite permitido por la legislación provincial. De esta



manera, se podrá establecer si es necesario un tratamiento previo antes de ser desechados al ambiente o si puede darse algún tipo de reúso.

## **Materiales y Métodos**

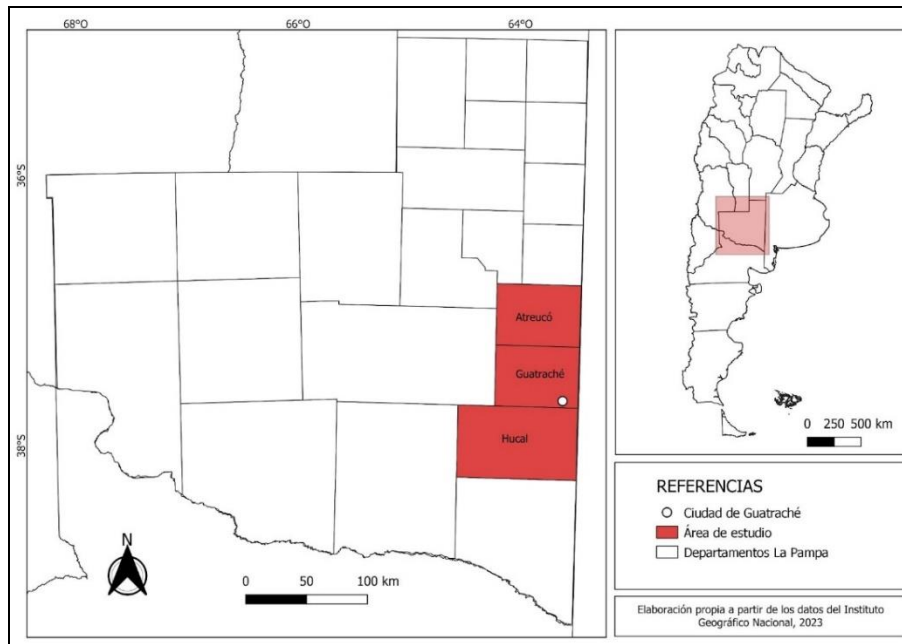
### **Área de estudio**

En la provincia de La Pampa, República Argentina, los centros de producción de leche se ubican en un área que va desde el límite de las provincias de Córdoba al Norte y la provincia de Buenos Aires al Este, formando una franja que se sitúa entre las isoyetas históricas de 500 y 700 mm de precipitación anual.

El área de estudio comprende los departamentos Guatraché, Hucal y Atreucó (Fig. 1), lugar donde se concentra la producción de leche en la cuenca Zona Sur de la provincia de La Pampa (Fig. 1). Las condiciones agroclimáticas que la caracterizan son las de mayor marginalidad, si la comparamos con las demás cuencas (Sánchez *et al.*, 2001).

En esta región se observan serios problemas de fertilidad y estabilidad de suelos debido al incipiente desarrollo de éstos; siendo los perfiles típicos AC-C-Ckm (Cano *et al.*, 1980). Este factor es de suma importancia debido a que el vertido de desechos potencialmente contaminantes puede ser un agravante de su condición, limitando la capacidad de uso. Actualmente, dadas las condiciones anteriormente mencionadas, el uso que se le da al suelo es agrícola - ganadero, siendo las principales actividades la cría de bovinos para la producción de leche, pasturas implantadas como alfalfa y, en menor medida, cultivos como el maíz y cereales.

El destino de la producción lechera, por la cercanía y el acceso a la Ruta Nacional N°35, principalmente es la ciudad de Bahía Blanca y las provincias de Río Negro, Neuquén y Chubut (Sánchez *et al.*, 2001).



**Figura 1:** Ubicación del área de estudio dentro de Argentina (derecha) y los departamentos de la provincia de La Pampa donde se encuentran los tambos en orden descendente: Atrreucó, Guatraché y Hucal. El punto de color blanco representa a la ciudad de Guatraché. Fuente: elaboración propia a partir de los datos del Instituto Geográfico Nacional, 2023.

Encuesta:

Para caracterizar los tambos del área de estudio, durante el año 2020, se seleccionaron 24 tambos al azar siguiendo la metodología utilizada por Salazar *et al.*, (2003).

Los tambos encuestados pertenecieron a los departamentos de Guatraché (15), Atrreucó (8) y Hucal (1). La mayoría de los establecimientos estaban ubicados en las cercanías de la ciudad de Guatraché, localidad central de la cuenca lechera sur.

Las encuestas fueron realizadas con la colaboración de Rocío Casado, quien tenía contactos con varios de los propietarios de los establecimientos de encuestados. Las preguntas de las encuestas se agruparon de acuerdo a: 1) Caracterización de los establecimientos: Tipo de establecimiento (privado, familiar, cooperativa, etc.); si posee asesoramiento y cantidad de personal. Tipo de estabulación, número de vacas de ordeño, peso promedio de éstas, tipo de ordeño y producción de leche; tipo de alimentación (pasturas, granos o suplementos). 2) Uso del agua: origen del agua, análisis químicos del agua y utilización del agua dentro del tambo (cantidad destinada al lavado de pisos, pezones, equipo y para la cámara de enfriamiento). 3) Destino de efluentes líquidos: análisis químicos,

realización de tratamientos, características del lugar de disposición final, y reúso de efluentes.

#### Muestreo a campo, análisis de las muestras y procesamiento de los resultados:

De los 24 tambos encuestados se seleccionaron 9 tambos que abarcaban un amplio rango de volúmenes de agua utilizados como de leche producidos. Los muestreos se realizaron en diciembre del año 2021 según las técnicas propuestas por Taverna *et al.*, (2014). Para poder analizar las características de efluentes brutos producidos por los tambos, las muestras se tomaron en el canal/piletón donde se desechaban los efluentes. Se tomaron 2 submuestras durante la dispensa de desechos con un recolector plástico previamente enjuagado. Las muestras se integraron en un recipiente más grande del cual se tomaron 3 muestras de 1 L cada y, luego de una completa homogeneización, fueron transportadas en frío al laboratorio.

En laboratorio, las determinaciones de nutrientes disueltos se realizaron sobre las muestras previamente filtradas con un filtro de fibra de vidrio tipo GF/F. Luego, se utilizaron los métodos del ácido ascórbico, hidrazina y fenato para analizar los fosfatos, nitratos y amonio respectivamente (APHA, 2012). El nitrógeno (NT) y fósforo (PT) total se registraron en muestras brutas previa digestión con persulfato de potasio y determinados con el método de la segunda derivada (Ferree y Shannon, 2001) y ácido ascórbico (APHA, 2012) respectivamente. Todas las determinaciones fueron realizadas con un espectrofotómetro UV-Vis Ocean Optics Red Tide USB650UV. Para la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) se utilizó el cálculo del índice de oxidabilidad, el cual consiste en cuantificar, en un medio ácido, la cantidad de oxígeno utilizada para la reducción del permanganato potásico por la materia orgánica contenida en la muestra de agua (APHA, 1992).

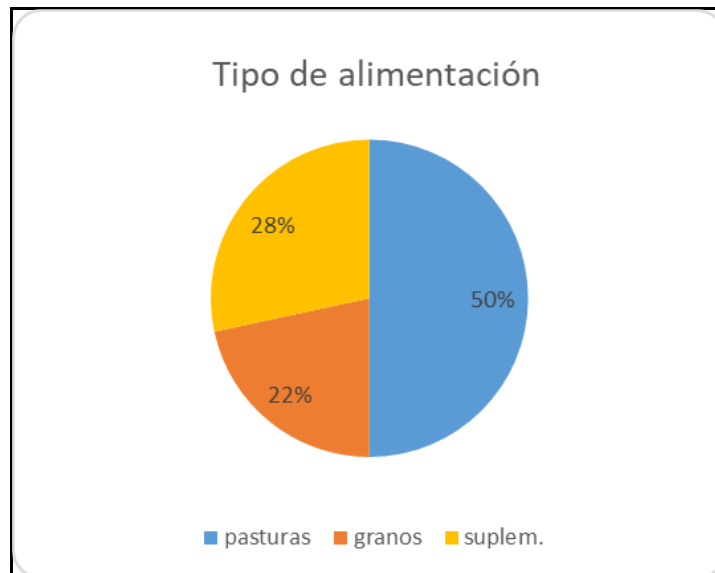
Una vez obtenidos los datos, se realizaron gráficos de Boxplot utilizando el software “Sigmaplot 11”. Con el objetivo de determinar si la calidad de los efluentes se encuentra dentro de los permitidos para ser vertido al ambiente, se compararon los valores con los valores establecidos por las legislaciones de la provincia de La Pampa, Córdoba y Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) cuyos límites se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Legislación seleccionada junto a su valor máximo permitido para los compuestos nitrogenados y fosforados.

Parámetro	Legislación	Límite mg/L
Fósforo total	Resolución 283/2019 ACUMAR	10
Fosfatos	Decreto 847/16 Córdoba	3
Nitrógeno total	Decreto 2793/06 La Pampa	15
Nitrógeno amoniacal	Decreto 847/16 Córdoba	3
Demanda química de oxígeno	Decreto 2793/06 La Pampa	250

### Resultados

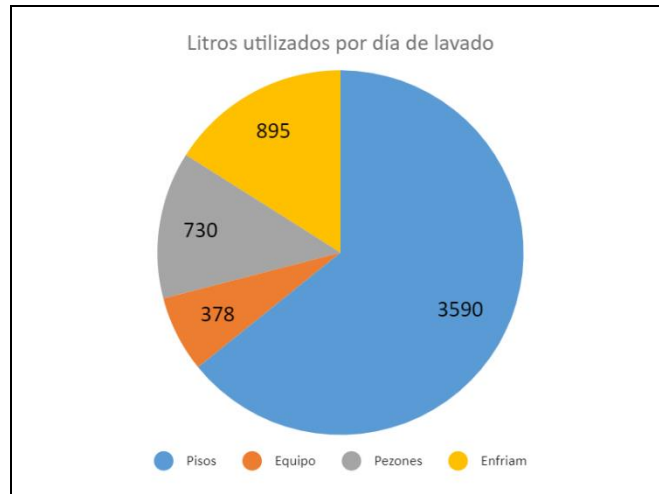
*Caracterización de los establecimientos:* Los establecimientos encuestados se repartieron en un 50% privados y 50% familiares, con entre 1 y 4 empleados. Los tambos producían, mediante ordeño mecánico dos veces por día, un rango de entre 12000 y 174000 L de leche por mes. El stock bovino que manejaron fue de entre 22 y 230 vacas de ordeño con un peso aproximado de 600 kg cada una. El 71% de los establecimientos encuestados manifestó no realizar estabulación alguna, mientras que el 24% sólo realizó medio día de estabulación y el restante 5% realizó una estabulación permanente. La dieta consistió mayormente de pasturas, seguida por suplementos alimenticios y luego por granos (Fig. 2).



**Figura 2:** Tipo de alimentación registrado en 24 tambos de la zona SE de La Pampa.

*Uso del Agua:* El agua de todos los tambos provino de perforaciones, de las cuales sólo 9 declararon realizar exámenes rutinarios de la misma. Un tambo promedio utilizó 5600 L/d

en un rango de 2620 y 12400 L/d. El uso de agua diario promedio por vaca de ordeño (de ahora en adelante VO) fue de 59 L/ VO.d, presentando un mínimo de 24 y un máximo de 187. El agua se utilizó principalmente para el lavado de pisos, seguida por el enfriamiento de la leche, el lavado de los pezones de las vacas de ordeño y por último la limpieza del equipo una vez finalizado el ordeño (Fig. 3).

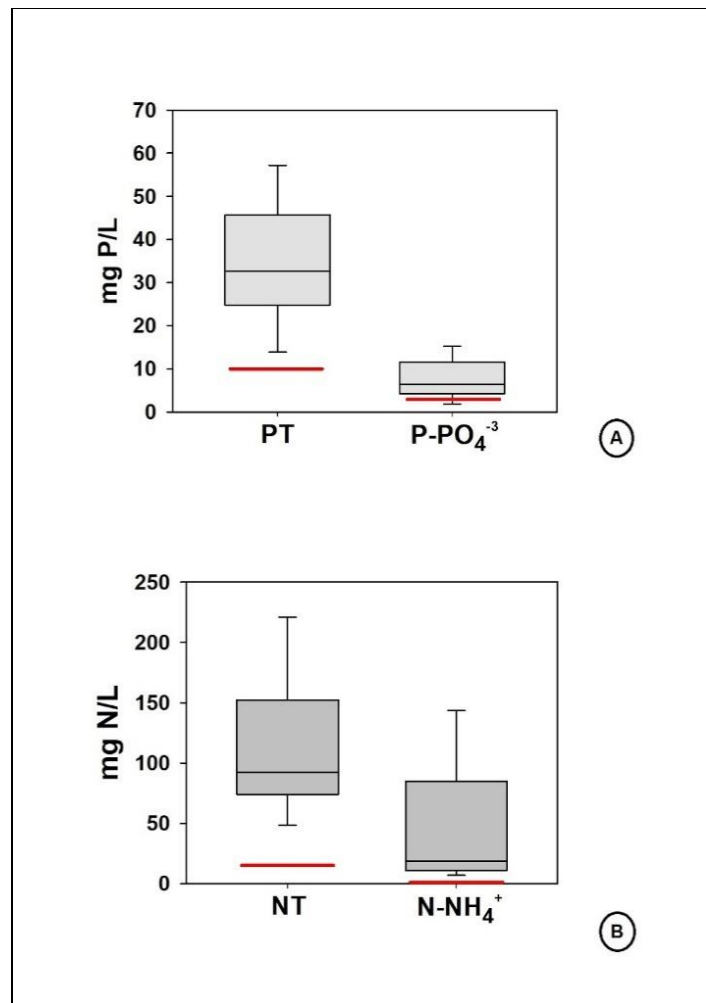


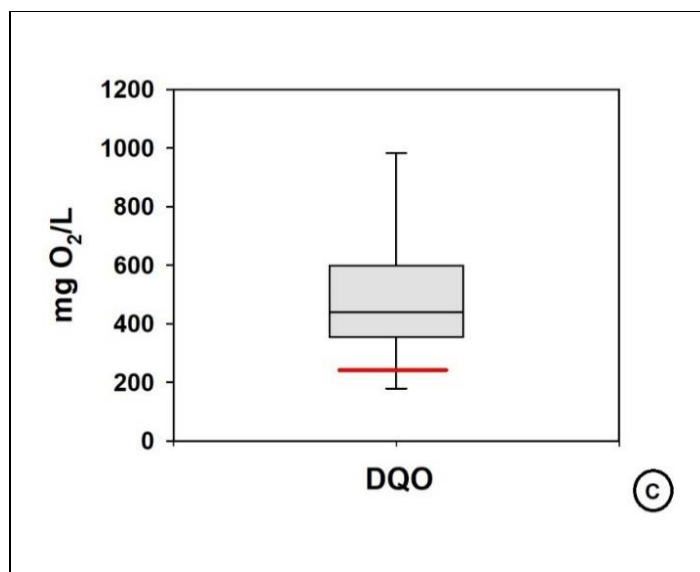
**Figura 3:** Diferentes usos del agua (L/día) registrado en 24 tambos de la zona SE de La Pampa.

*Destino de los efluentes líquidos:* Para los efluentes, de los 24 tambos encuestados, solamente dos manifestaron realizar análisis de los efluentes generados y poco más de la mitad manifestó poseer pileta de decantación para los efluentes. En cuanto al destino de éstos, en el 61% de los tambos es un canal, en el 22% un pozo de tierra y el restante 17% una combinación entre los destinos mencionados anteriormente. Los pozos se encuentran a una distancia de 30 y 3000 metros del tambo. Del total de tambos encuestados, sólo 3 declararon realizar un tratamiento de los efluentes generados, únicamente uno de estos manifestó reutilizar el agua para riego, aplicando los purines en carros en dosis de 2000 L/ha/año en la estación primaveral.

*Análisis químicos:* El 100% de los tambos superaron lo establecido por la Resolución 283/2019 de Acumar (Tabla 1) para PT. El mínimo y máximo observado fue de 13 y 60 mgP/L con un promedio de 34 mgP/L (Fig. 4 A). El 89% de los tambos superaron los límites establecidos por el Decreto 2793/06 de la provincia de La Pampa (Tabla 1). El mínimo y máximo observado fue de 1,8 y 15 mgP/L con un promedio de 7 mgP/L (Fig. 4 A). Respecto de las formas nitrogenadas, el 100% de los tambos analizados superaron ampliamente lo establecido por el Decreto 2793/06 de La Pampa para el NT y el Decreto 846/17 de Córdoba

para el Nitrógeno amoniacal (Fig. 4 B). Exceptuando un sólo tambo, los niveles registrados de DQO superan ampliamente el límite establecido por el Decreto 2793/16 de la provincia de La Pampa (Tabla 1). El valor mínimo registrado, siendo el único dentro de los parámetros permitidos, estuvo cerca de los 180 mgO<sub>2</sub>/L, el valor promedio fue casi el doble que el límite permitido y el máximo casi cuadruplicó el límite de la legislación, alcanzando los 982 mg O<sub>2</sub>/L (Fig. 4 C).





**Figura 4:** Composición de los efluentes de tambos seleccionados del SE de La Pampa: A) compuestos fosforados, B) compuestos nitrogenados y C) DQO. Los bigotes indican los valores extremos, la caja el rango intercuartílico y la línea negra la mediana. Las líneas de color indican los valores permitidos por Dec. 2793/06 (La Pampa), Decreto 847/16 (Córdoba) y la resolución 283/2019 ACUMAR (Bs. As.).

### Discusión

Este estudio permitió actualizar y ampliar la información disponible de los tambos de la cuenca Sur y realizar por primera vez una caracterización de sus efluentes.

Respecto de la caracterización de tambos, es esencial comparar los datos obtenidos con los datos del estudio de Larrea *et al.*, (2020), quienes estudiaron la caracterización de las explotaciones lecheras en La Pampa. En este estudio se encontró que la producción de leche en los tambos estudiados varió entre 144000 y 2088000 L/año, con un promedio de 926187 L/año, valores que se sitúan entre el rango provincial reportado por Larrea *et al.*, (2020) cuyos valores oscilaron entre 57548 y 16318627 L/año. La diferencia en la producción puede atribuirse a la heterogeneidad de los establecimientos a lo largo de las cuencas lecheras de la provincia. Respecto del número de vacas de ordeño, el número registrado en este trabajo se encuentra dentro del rango publicado por Larrea *et al.*, (2020) (12 y 2120 VO). Asimismo, el número de empleados que trabajan en los tambos encuestados entran dentro del rango notificado a nivel provincial por estos autores de (1 - 30 empleados), el valor máximo en este estudio es mucho menor que el máximo provincial.

Los tipos de alimentación encontrados en esta investigación (Fig. 2) difieren de los establecidos por Larrea *et al.*, 2020. Estos autores encontraron que la fuente alimenticia de un tambo promedio en La Pampa consta en un 20% de pasturas, 36% en granos y 35% en suplementos alimenticios. Es evidente que los rangos de los establecimientos estudiados por los autores son más amplios, debido a que han considerado establecimientos de toda la provincia. Los establecimientos ubicados en el noreste de la provincia muestran mayor producción, sofisticación, mejores condiciones ambientales, y posiblemente económicas. Los tambos de este estudio, por otro lado, concentrados en el sureste de la provincia, se caracterizan por ser pequeños, más familiares y enfrentar condiciones ambientales menos favorables (semiaridez). Es por esta razón que basan la alimentación de las vacas en un recurso natural abundante como las pasturas.

El volumen y composición de efluentes en los tambos depende principalmente del número de vacas ordeñadas y el tiempo de ordeño, si comen o no mientras se las ordeña y el destino de la leche sobrante (Glessi y González, 2013; Taverna *et al.*, 2004; Charlon, 2007). En este estudio se encontró que un tambo promedio utilizó 59 L/VO.d. Si lo comparamos con datos de otros países, se encuadran dentro del rango reportado en Irlanda por Martínez-Suller *et al.*, (2010), donde los tambos utilizan 11-240 L/VO.d; menor que en Chile 105 (Salazar *et al.*, 2003) y ligeramente superior que el promedio para Argentina de 50 L/VO.d (García, 2015). Esto pone en manifiesto que en el SE de La Pampa el uso del agua es menos eficiente que en el promedio del país.

Respecto al uso de agua, ante la ausencia de datos de establecimientos en el territorio provincial, se recurrió a comparar con los datos de Nosetti *et al.*, 2002. quienes estudiaron tambos de la provincia de Buenos Aires de las cuencas Oeste, Abasto Sur y Abasto Norte (Tabla 2). Los valores obtenidos en este estudio de lavado de máquinas y lavado de pezones se encuentran dentro de los valores obtenidos por estos autores. Cabe destacar que los valores utilizados en la cámara de enfriamiento de este estudio (0,3 L de agua/ L de leche), es considerablemente menor que el intervalo de 4,65 a 9,20 L de agua/ L de leche reportado por ellos. Esta discrepancia podría deberse a que los tamberos encuestados en vez de responder el volumen de agua utilizada reportaron el volumen de la cámara de enfriamiento. Caso contrario se dio con el volumen de agua utilizado para el lavado de pisos, que en este estudio fue casi tres veces más alto que el máximo valor obtenido por Nosetti *et al.*, 2002. Por otro lado, la cantidad de agua utilizada para el lavado de máquinas y el lavado de pezones



encontrados en este estudio entra en los rangos reportados por Nosetti *et al.*, (2002) (180 - 400 L/d y 0 - 3,11 L/VO.d respectivamente (Tabla 2).

**Tabla 2:** Comparación entre el consumo de agua encontrado por Nosetti *et al.*, (2002) y este estudio. Para este estudio, el número indica la media y entre paréntesis figura el rango.

Estudio/ Variable	Enfriamiento (L agua/ L leche)	Lavado de máquinas (L/d)	Lavado de pisos (L/VO.d)	Lavado de pezones (L/VO.d)
Nosetti <i>et al.</i> , (2002)	4,65 - 9,20	180 - 400	3,57 - 8,33	0 - 3,11
Este estudio	0,3 (0 - 2,5)	203 (50 - 500)	21,5 (7,7 - 83,3)	2,5 (0 - 15,6)

El presente trabajo es el primer antecedente sobre caracterización de efluentes de tambos en el SE de La Pampa y, ante la ausencia de una caracterización para los tambos pampeanos, se ha procedido a comparar con otros tambos de la región pampeana, aunque estos sean de distintas dimensiones (Tabla 3).

Los valores de NT, N-NH<sub>4</sub> y PT obtenidos en este estudio se encuadran en los intervalos obtenidos por Nosetti *et al.*, (2002), Herrero *et al.*, (2014), y Di Nasso, (2019). Sin embargo, nuestro nivel de DQO resultó menor al obtenido por Nosetti. Esta diferencia podría explicarse porque en los tambos estudiados, la zona de encierro antes y después del ordeño no está impermeabilizada. Esto significa que la superficie, al ser de tierra, retiene más excretas y materia orgánica, por lo tanto, estos componentes deberían llegar en menor medida a la laguna de disposición final (Nosetti *et al.*, 2002). Es importante destacar que los tambos estudiados por Nosetti *et al.*, (2002) y Herrero *et al.*, (2014) se encuentran en la provincia de Buenos Aires, donde hay una gran diversidad de establecimientos.

**Tabla 3:** Comparación entre la caracterización de efluentes de tambos de este estudio con otros autores pertenecientes a la región pampeana.

Estudio/ variable	NT (mg/ L)	NH <sub>4</sub> (mg/ L)	PT (mg/ L)	DQO (mgO <sub>2</sub> / L)
Este estudio	48,4 - 221,2	7,0 - 146,3	13,9 - 57,2	179,0 - 682,6
Nosetti <i>et al.</i> , (2002)	106,3 - 654,8	30,3 - 225	6,8 - 51,9	945 - 27000
Herrero <i>et al.</i> , (2014)	31 - 1180	3 - 341	7,3 - 130	510 - 27000
Di Nasso, (2019)	604	-	97	-

Para determinar si la composición de los efluentes supera los límites establecidos para La Pampa, se utilizó el Decreto provincial N° 2793/06 (vigente al momento de la toma de muestras en este estudio) debido a que actualmente la provincia de La Pampa carece de una normativa que regule el vuelco de efluentes al ambiente. Este decreto, reglamentario de la anterior Ley Provincial de Ambiente N°1.914, fue derogado con la reglamentación de la Ley Provincial N° 3195 en el año 2022. Para completar la falta de información legal sobre límites permitidos para el volcado de efluentes sobre parámetros no incluidos en la legislación pampeana (PT, N-NH<sub>4</sub>), se han utilizado legislaciones extra provinciales debido a que el decreto 2793/06 de La Pampa establece que aquellos parámetros no incluidos deberán respetar los valores que la Organización Mundial de la Salud (OMS) (establecidos como límites para el agua potable, lo que en este caso no sería adecuado). Para superar este inconveniente se consideró el Decreto 847/16 de Córdoba (provincia con producción lechera vecina) y la Resolución 283/19 de ACUMAR debido a que la cuenca Matanza-Riachuelo recibe una gran variedad de efluentes. Todos estos valores permitidos para la descarga en el ambiente se muestran en la Tabla 1. Cabe destacar que la legislación vigente presenta falencias, debido a que esta se encuentra basada en los límites establecidos para el agua potable por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta no considera la calidad del agua al entrar y salir del proceso, asegurando que el agua tratada sea igual o mejor que la original. La legislación debería contemplar los cambios en el contenido de nitratos y fosfatos y que éstos no superen cierta diferencia con respecto al ingreso. Las regulaciones podrían adaptarse según el volumen de efluente generado, priorizando la protección del ambiente en función del riesgo asociado con cada actividad.

Cuando se compararon los valores de PT, P-PO<sub>4</sub>, NT, N-NH<sub>4</sub> y DQO obtenidos en este estudio con los valores de referencia, se observó que todos superan ampliamente los valores máximos permitidos por la legislación correspondiente para el vuelco de efluentes. Debido a que estos parámetros exceden los escasamente legislados, es necesario determinar su toxicidad. C. K. Pérez (2024, comunicación personal) encontró que todos los purines presentaron niveles moderados a altos de toxicidad en *Daphnia*. Esto indica que los purines no pueden ni ser volcados al ambiente ni reutilizados en concentración pura. En caso de utilizarse como fertilizantes para ser aplicados con carros purineros, será necesario estudiar la dilución óptima que favorezca el crecimiento vegetal, sin afectar la biota del suelo. La reutilización para riego de pasturas y maíz, además de ser una alternativa económica al

manejo de efluentes, ha demostrado dar buenos resultados (Di Nasso, 2019 y Diez, 2009, 2010 y 2016). Además, se sugiere que la futura legislación provincial incluya no sólo los límites permitidos, sino también datos sobre toxicidad de los efluentes que permitan detectar su impacto sobre la biota del ambiente.

En términos de gestión ambiental de los tambos del área de estudio, se sugiere implementar un sistema de tratamiento de efluentes que consista en una etapa de separación de sólidos; seguido de una laguna donde se realice la digestión aeróbica de la materia orgánica. Esta última etapa deberá contar con un sistema de aireación asistida. Esta opción podría ser inviable en la zona de estudio debido a que estos equipos son muy costosos y los tambos son de pequeña envergadura.

### **Conclusión**

El contenido de compuestos nitrogenados y fosforados demuestra el potencial que los efluentes de tambo poseen para el reuso como riego de cultivos anuales. Obviamente, antes de utilizarlos es necesario estudiar la dilución correcta para que fertilicen los cultivos forrajeros sin llegar a ser tóxicos para la biota del suelo. A través de una gestión ambiental adecuada, la reutilización de este tipo de efluentes no sólo conlleva beneficios ambientales, sino también económicos. Los fertilizantes, principalmente compuestos por nitrógeno y fósforo, que se encuentran en los efluentes de los tambos, son elementos costosos para los productores (Di Nasso, 2019). Por lo tanto, su reutilización eficiente no sólo contribuiría a reducir los impactos ambientales de la inadecuada disposición de los efluentes de los tambos y del uso de agroquímicos, sino que también permite un ahorro económico.

Es urgente actualizar la normativa existente para abordar las deficiencias relacionadas con el vertido de efluentes, con el objetivo de garantizar la sostenibilidad social, económica y ambiental de la actividad tambera. Esto facilitará la implementación de una economía circular, promoviendo la reutilización de los efluentes líquidos como parte integral de un sistema agrícola más sostenible.

## Referencias bibliográficas

- APHA (1992). Asociación Estadounidense de Salud Pública. Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales. 18nd edition. Washington, Parte 209, 421, 508.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF). (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 nd edition. Washington DC.
- Cano, E., Casagrande, H. A., Conti, B., Fernandez, R., Hevia, J. C., Lea Plaza, D., Montes y Peña Zubiato, C. A. (1980). Inventario integrado de los recursos naturales de la Provincia de La Pampa. Clima, geomorfología, suelo y vegetación. *INTA-Gobierno de La Pampa-UNLPam. Santa Rosa.*
- Charlon, V. (2007). Residuos en las Instalaciones de Ordeño. *Revista Idia XXI N° 9.* 1-192.
- Di Nasso, L. 2019. Evaluación de efluentes de tambo como abonos orgánicos para una forrajera invernal. Tesina presentada para obtener el grado académico de ingeniería en recursos naturales y medio ambiente. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa.
- Diez, M. 2009. Respuesta del maíz a la aplicación de efluentes de tambo en Entisoles y Molisoles de la planicie medanosa. Tesina de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa.
- Diez, M. (2010). Manejo de los efluentes originados en tambo: Una experiencia en el este de La Pampa. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur (IPNI), (47),* 16-18.
- Diez, M. (2016). Alternativas de uso de efluentes de tambo. Efectos sobre la producción de cultivos y propiedades de molisoles y entisoles de la región semiárida pampeana. *Semiárida, 26(1),* 24-26.
- DGEyCLP Dirección General de Estadísticas y Censos, La Pampa. (2024). Anuario estadístico 2020. Gobierno de la provincia de La Pampa. Disponible en: <http://www.estadistica.lapampa.gov.ar/anuario-estadistico-2020>. Visitado el 29 de abril de 2024.
- Ferree, M. A., y Shannon, R. D. (2001). Evaluation of a second derivative UV/visible spectroscopy technique for nitrate and total nitrogen analysis of wastewater samples. *Water research, 35(1),* 327-332.

- Fyfe, J., D. Hagare y Sivakumar, M. (2016). Dairy shed effluent treatment and recycling: Effluent characteristics and performance. *Journal of Environmental Management* 180, 133-146.
- Glessi, W. M. y González, J. F. (2013). Caracterización de los efluentes de un tambo. *Revista Ciencia Animal* (6), 77-86.
- Harter, T., Davis, H., Mathews, M. C., y Meyer, R. D. (2002). Shallow groundwater quality on dairy farms with irrigated forage crops. *Journal of contaminant hydrology*, 55(3-4), 287-315.
- Hawke, R.M. y Summer, S.A. (2006) Effects of land application of farm dairy effluent on soil properties: A literature review, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 49(3):307-320.
- Herrero, M. A., Iramain, M. S., Korol, S., Buffoni, H., Flores, M., Pol, M., y Fortunato, M. (2002). Calidad de agua y contaminación en tambos de la cuenca lechera de Abasto Sur, Buenos Aires (Argentina). *Rev. Arg. Prod. Anim*, 22(1), 61-70.
- Herrero, M. A. (coord.) (2009). Uso de agua, manejo de efluentes e impacto ambiental. II Jornadas Internacionales de calidad de leche. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/278028063\\_Uso\\_del\\_agua\\_manejo\\_de\\_efluentes\\_e\\_impacto\\_ambiental#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/278028063_Uso_del_agua_manejo_de_efluentes_e_impacto_ambiental#fullTextFileContent). Visitado el 25 de Abril de 2024.
- Herrero M. A. (2014). Uso y manejo del agua y efluentes en un área rural: consecuencias sanitarias y ambientales de la intensificación de la producción primaria de leche. Tesis de Doctorado. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 380 pp.
- Larrea, Á. T., Mata, H., Benito, J., Otorosky, R., Saravia, D., Hecker, F. y Meglia, G. E. (2020). Caracterización de las explotaciones lecheras de La Pampa. *Ab Intus*, (5), 71-82.
- Martínez-Suller, L., Provoló, G., Carton, O. T., Brennan, D., Kirwan, L., y Richards, K. G. (2010). The composition of dirty water on dairy farms in Ireland. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 67-80.
- National Resource Conservation Service Wisconsin (NRCSW). (2009). Milking Center Wastewater Guidelines. A Companion Document to Wisconsin NRCS Standard 629. Disponible en: [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/wi/home/?cid=nrcs142p2\\_020924](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/wi/home/?cid=nrcs142p2_020924). Visitado el 10 Jul 2022.

- Nosetti, L., Herrero, M. A., Pol, M., Maldonado May, V., Iramain, M. S., y Flores, M. (2002). Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros. Demanda de agua y manejo de efluentes. *InVet*, 4(1), 37-43.
- Nosetti, L., Herrero, M. A., Pol, M., Maldonado May, V., Korol, S., Rossi, S. y Flores, M. (2002). Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros II. Calidad de efluentes y eficiencia de los procesos de tratamiento. *InVet*, 4(1), 45-54.
- Salazar, F. J.; Dumont, J.C.; Santana, M. A.; Pain, B. F.; Chadwick, D. R. y Owen, E. (2003). Prospección del manejo y utilización de efluentes de lecherías en el sur de Chile. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 35(2), 215-225.
- Sanchez, A., Chau, G., Ferretti, S., Babinec, F., Colazo, R., De Durana, J., Estelrich, D., y Zappa, M. (2001) Caracterización de los sistemas de producción lechera en las cuencas de La Pampa. *Semiárida*, 12(1), 7-19. Recuperado de <http://170.210.120.55/index.php/semiarida/article/view/4682/4817>). Visitado el 8 de abril de 2024.
- Smith, K. A., y Chambers, B. J. (1993). Utilizing the nitrogen content of organic manures on farms problems and practical solutions. *Soil use and management*, 9(3), 105-111.
- Taverna, M., Charlon, V., Panigatti, C., Castillo, A., Serrano, P., Giordano, J. (2004). Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. Una contribución al logro de ambientes locales sanos. INTA Rafaela, Argentina, 1-75.
- Taverna, M.A., C. García, y M.B. Adorni. (2014). Procedimiento de muestreo de efluentes líquidos y residuos sólidos orgánicos generados en el tambo. 1º Ed. Rafaela, Santa Fe: Ediciones INTA 2014. E-Book ISBN 978-987-521-514-6.