



FCA
Facultad de Ciencias
Agropecuarias



UNC

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
GESTIÓN AMBIENTAL Y PRODUCCIÓN SOSTENIBLE**



ESTUDIO DE CASO: CONSUMO DE AGUA EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LECHE

AUTOR: AGUSTÍN GIOVANINI.

TUTOR: ING. AGR. (ESP.) JORGE DUTTO.

CO-TUTOR: ING. AGR. (ESP.) GONZALO TENTOR.

ASESORA: LIC. (M.SC.) KARINA GARCÍA.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
GESTIÓN AMBIENTAL Y PRODUCCIÓN SOSTENIBLE

**ESTUDIO DE CASO: CONSUMO DE AGUA EN
UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LECHE**

AUTOR: Agustín Giovanini.

TUTOR: Ing. Agr. (Esp.) Jorge Dutto¹.

CO-TUTOR: Ing. Agr. (Esp.) Gonzalo Tentor².

ASESORA: Lic. (M.Sc.) Karina García³.

¹*Área de Gestión Ambiental y Producción Sostenible, Departamento de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.*

²*Cátedra de Producción de Leche, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.*

³*Chacra Experimental Integrada Barrow, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Darío Brunotto por haberme recibido en su establecimiento agropecuario, por su buena predisposición y por brindarme información útil sobre su sistema de producción para la realización de este Trabajo Académico Integrador.

Les doy las gracias también a Jorge Dutto, Gonzalo Tentor y Karina García, quienes me brindaron su atención y me compartieron sus conocimientos durante todo el proceso de elaboración de este informe.

Y finalmente, una vez más, agradezco a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba por una nueva instancia de aprendizaje para mi formación como futuro Ingeniero Agrónomo.

RESUMEN

Diversos organismos concuerdan en que el agua es un derecho humano y que la gestión de los recursos hídricos puede impulsar el desarrollo sostenible. La reserva mundial de agua es escasa y del total de agua disponible extraída a nivel mundial, un 69% se destina al sector agropecuario. La producción lechera es una actividad económica muy importante en Argentina y viene mostrando una tendencia a la concentración y a la intensificación. Uno de los problemas asociados con esta tendencia es la creciente demanda de agua junto con la concentración de una gran cantidad de excretas en áreas reducidas y el aumento de los efluentes producidos, con el consecuente riesgo de contaminación del agua. Por todo lo dicho, es necesario realizar un uso racional del agua en los sistemas de producción de leche. Por esto, el objetivo de este estudio fue cuantificar y estimar el consumo de agua total y parcial en un sistema de producción de leche situado en la Cuenca Lechera Noreste de la Provincia de Córdoba, Argentina, y elaborar propuestas de mejora para maximizar la eficiencia en el uso del agua. El relevamiento de datos para describir todo lo implicado con el consumo de agua se llevó a cabo a través de una visita campo y de distintas instancias de comunicación con el productor. Para la cuantificación del consumo de agua se emplearon dos caudalímetros y para la estimación de los consumos de agua parciales se recurrió a las mediciones realizadas con los caudalímetros y a la información relevada. En el sistema de producción estudiado se tiende a una gestión sostenible del recurso agua, a través de una serie de buenas prácticas en pos de la eficiencia en el uso de la misma. La limpieza de los pisos fue determinada como un punto crítico en el consumo de agua. A través de dos propuestas de mejora viables para el tambo, que son la captación del agua pluvial y la utilización del rabasto para la limpieza de los pisos, se estimó un significativo ahorro de agua del 13%.

Palabras clave: *Concentración, intensificación, efluentes, contaminación, eficiencia, sostenibilidad.*

INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
RESULTADOS.....	14
Sistema de producción.....	14
Tipo de sistema de producción, tamaño y producción.....	14
Extracción, circuito y almacenamiento de agua.....	14
Superficie del tambo, techos y captación de agua pluvial.....	14
Máquina de ordeñar, equipo de frío y placa de refrescado.....	15
Lavado de la máquina de ordeñar y del equipo de frío.....	15
Rutina de ordeño.....	16
Limpieza de los pisos.....	16
Sistema de refrescado.....	16
Buenas prácticas en el uso del agua.....	16
Consumo de agua.....	17
PROPUESTAS DE MEJORA.....	21
Captación del agua pluvial para la limpieza de los pisos.....	21
Uso de rabasto para la limpieza de los pisos.....	21
Propuestas de mejora combinadas.....	21
CONCLUSIONES.....	23
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
ANEXOS.....	28

INTRODUCCIÓN

Diversos organismos, entre los que se destacan la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019) y las Naciones Unidas (NU, 2010), concuerdan en que el suministro continuo de agua suficiente (entre 50 y 100 litros de agua por persona por día), de calidad (apta para consumo humano), accesible (a menos de 1.000 metros y de 30 minutos del hogar) y asequible (costo menor a 3% de los ingresos del hogar) es un derecho humano. Además, destacan que la gestión de los recursos hídricos puede impulsar el desarrollo sostenible de las diferentes regiones del mundo ya que es un recurso natural básico utilizado para beber, para uso doméstico, para producir energía o alimentos y para fines recreativos.

El desarrollo sostenible es el que permite satisfacer las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Las Naciones Unidas (2015) definieron como Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) a garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. Dentro de las metas de este ODS, a los fines de este trabajo, particularmente cabe destacar la de aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a su escasez y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de la misma. Por otro lado, dado que el agua es un elemento crucial en muchas esferas de la vida humana, la consecución de este ODS contribuirá al progreso de los demás, principalmente los relacionados con la salud, la educación, el crecimiento económico y el medio ambiente.

El 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua pero en realidad forma una delgadísima película con respecto al tamaño del planeta. A su vez, sólo el 2,5% es dulce, de la cual el 70% se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo y casi el 30% son aguas subterráneas de difícil acceso. Por lo tanto, menos del 1% es agua disponible (AGUA.org.mx, 2017). Debido a que la reserva mundial de agua es constante, los recursos hídricos per cápita disminuyen a medida que aumentan la población y sus necesidades, por lo que la situación es insostenible y conlleva al agotamiento de este recurso natural en el mundo. Lo que agrava la situación es que, en algunos casos, la extracción de aguas subterráneas supera la recarga de los acuíferos, mientras que, en

otros, se extrae agua de buena calidad pero se retorna al sistema hidrográfico agua de calidad inaceptable (FAO, 2002).

Del total de agua disponible extraída a nivel mundial, un 69% se destina al sector agropecuario, un 19% al industrial y un 12% al municipal (AGUA.org.mx, 2017). En este sentido, el aumento de la eficiencia en el uso del agua en el sector agropecuario es una intervención clave para afrontar su escasez.

La producción lechera es una actividad económica muy importante en Argentina, particularmente en algunas regiones. Según el Observatorio de la Cadena Láctea Argentina (OCLA, 2021), actualmente dispone de 10.466 tambos y de 1.576.578 vacas lecheras, alcanzando una producción de 11.337 millones de litros anuales, mayoritariamente a partir de las tres principales provincias productoras que son Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires.

A su vez ha mostrado, desde 1990, una tendencia a la concentración, dado por una disminución en el número de tambos, un aumento en el tamaño de los rodeos y un aumento en la carga animal por hectárea, y a la intensificación, gracias a una mayor aplicación de tecnología, lo cual llevó a una mayor producción de leche por tambo y por vaca (Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1996; Herrero, 2003; Taverna et al., 2004; Chimicz y Gambuzzi, 2007; Sánchez et al., 2012; FunPel, 2013; Gastaldi et al., 2016; Charlón et al., 2017). Todo esto concuerda con las cifras del OCLA (2021), las cuales indican que en Argentina la tasa anual de disminución de tambos es de -2,2% (2002-2020), mientras que la de vacas lecheras es de -0,9% (2002-2021), y que la producción de leche por tambo y por vaca han tenido una tasa anual de crecimiento de 1,7% (2008-2020) y de 2% (2008-2021), respectivamente. Estas cifras también arrojan que, en la actualidad, la producción diaria por tambo promedio es de 2.916 L/tambo/día y la producción individual es de 22,8 L/VO/día.

Uno de los problemas asociados con esta tendencia es la creciente demanda de agua (Nosetti et al., 2002; Callinan, 2009) junto con la concentración de una gran cantidad de excretas en áreas reducidas y el aumento de los efluentes producidos, con el consecuente riesgo de contaminación del agua (Atkinson y Watson, 1996; Dou et al., 1996; Viglizzo y Roberto, 1997; Díaz Zorita y Barraco, 2002; Herrero, 2003; Alfaro y Salazar, 2005), tanto a escala local o de campo, como regional o de cuenca (Martínez y Burton, 2003). Las excretas contenidas en los efluentes presentan Nitrógeno (N) y Fósforo (P; Morse, 1995; Herrero y Thiel, 2002), metales pesados (Brumm, 2002), microorganismos patógenos (Nicholson et al., 2005), hormonas y

drogas de uso veterinario (Jjemba, 2003). Estos contaminantes pueden llegar a aguas superficiales por escurrimiento (Stone et al., 1995) y a aguas subterráneas por infiltración (Cepilecha et al., 2004; Carbó et al., 2008; Herrero et al., 2008). Numerosos estudios realizados en las principales cuencas lecheras de Argentina ponen de manifiesto la contaminación química y microbiológica de las aguas subterráneas y superficiales cercanas a las instalaciones de ordeño y a las lagunas de efluentes, las cuales resultan un riesgo para la salud de la población rural residente, al no ser aptas para el consumo humano, como así también una amenaza para la salud del ganado y para la calidad de los productos agropecuarios (Sweeten et al., 1995; Herrero et al., 2000, 2002, 2006, 2008, 2008b; Nosetti et al., 2002b; Núñez y Verellén, 2007).

En las instalaciones del tambo, durante el ordeño, el agua es utilizada para diferentes usos como el lavado de los pezones, el refrescado de la leche, la limpieza de los pisos, el lavado de la máquina de ordeñar y el equipo de frío, entre otros (Willers et al., 1999; Herrero, 2003; Dejtiar, 2019; Pérez, 2020). En diversos trabajos llevados a cabo en establecimientos lecheros de la Región Pampeana Argentina se ha cuantificado el consumo de agua en las instalaciones de ordeño (Willers et al., 1999; Charlón et al., 2000; Nosetti e Iramain, 2001; Nosetti et al., 2002; Herrero, 2003; Taverna et al., 2004; Vuksinic, 2016; Charlón et al., 2017; Dejtiar, 2019). En algunos de estos se cuantificó el uso de agua total, en otros el total más los parciales de cada momento de la rutina de ordeño y en otros algún consumo puntual. A su vez, en algunos se cuantificó también el consumo de agua para bebida animal. En cuanto a los resultados, se puede observar una gran variabilidad de valores, además de estar expresados en unidades diferentes ($L \cdot día^{-1}$, $L \cdot VO^{-1} \cdot día^{-1}$ o $L \cdot L \text{ de leche}^{-1}$), lo que dificulta que puedan ser utilizados como referencia. Dejtiar (2019) intentó desarrollar una metodología para estimar el consumo de agua en las instalaciones de ordeño pero sus estimaciones no representaron la realidad observada a campo, lo que se debió a que el consumo de agua depende de una gran cantidad de factores como, por ejemplo, el diseño, el dimensionamiento y el mantenimiento de las instalaciones del tambo y del factor humano afectado al manejo durante la rutina de ordeño. No obstante, recomendó que los productores midan su consumo de agua real, lo que concuerda con la Guía de Buenas Prácticas para Establecimientos Lecheros (Negri y Aimar, 2019), en donde se recomienda cuantificar los consumos de agua para poder eficientizar su utilización, sin realizar desperdicios.

Con respecto a la normativa ambiental de la Provincia de Córdoba, el sistema de producción de leche objeto de estudio quedaría regido por la Ley 9.306 de Regulación de los Sistemas Intensivos y Concentrados de Producción Animal (SICPA), que tiene como objetivos la protección de la salud humana, de los recursos naturales, de la producción animal y la preservación de la calidad de los alimentos y materias primas de origen animal, contribuyendo al desarrollo sostenible de estos emprendimientos y a la disminución del impacto ambiental que los mismos puedan generar. También quedaría enmarcado dentro de la Ley 10.208 de Política Ambiental Provincial, que contempla la gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable que promueva una adecuada convivencia de los habitantes con su entorno en el territorio de la Provincia de Córdoba. Además se cuenta con el Decreto 847/16 de Reglamentación de Estándares y Normas sobre Vertidos para la Preservación del Recurso Hídrico Provincial, cuyo objetivo es establecer los mecanismos de control, fiscalización y seguimiento de las actividades antrópicas que se vinculan a la gestión en materia hídrica, fijar estándares de emisión o efluente, estándares tecnológicos y ambientales para los vertidos de efluentes líquidos a cuerpos receptores del dominio público provincial, promoviendo el uso de los recursos hídricos con visión de sustentabilidad. A su vez, la Resolución N° 29/17 trata los Estándares Ambientales, de Emisión o de Efluentes y Estándares Tecnológicos para la Gestión y Aplicación Agronómica de Residuos Pecuarios de la Provincia de Córdoba y la Resolución N° 1/19 establece el Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost. Por último, cabe destacar que un importante incentivo para la gestión ambiental y la producción sostenible es el Programa de Buenas Prácticas Agropecuarias de Córdoba definido en la Ley 10.663.

Por todo lo dicho, es necesario realizar un uso racional del agua en los sistemas de producción de leche, lo que permitirá directamente reducir el consumo de agua e indirectamente disminuir el volumen de efluentes generados, facilitar su manejo y minimizar los riesgos de contaminación del medio ambiente.

OBJETIVOS

Objetivo general

Cuantificar y estimar el consumo de agua total y parcial en un sistema de producción de leche situado en la Cuenca Lechera Noreste de la Provincia de Córdoba, Argentina, y elaborar propuestas de mejora para maximizar la eficiencia en el uso del agua.

Objetivos específicos

> Describir el sistema de producción para poder estimar los consumos de agua parciales.

> Cuantificar, estimar y evaluar el consumo de agua total y parcial del sistema de producción.

> Identificar buenas prácticas y puntos críticos en relación al uso del agua.

> Elaborar propuestas de mejora que tiendan a disminuir el consumo de agua y estimar el ahorro de agua que se generaría.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en un tambo situado en la Cuenca Lechera Noreste de la Provincia de Córdoba, Argentina, a 3 km de la localidad de Villa San Esteban, Provincia de Córdoba ($31^{\circ} 36' 53,6''$ S $62^{\circ} 52' 55,8''$ O; figuras 1, 2 y 3).

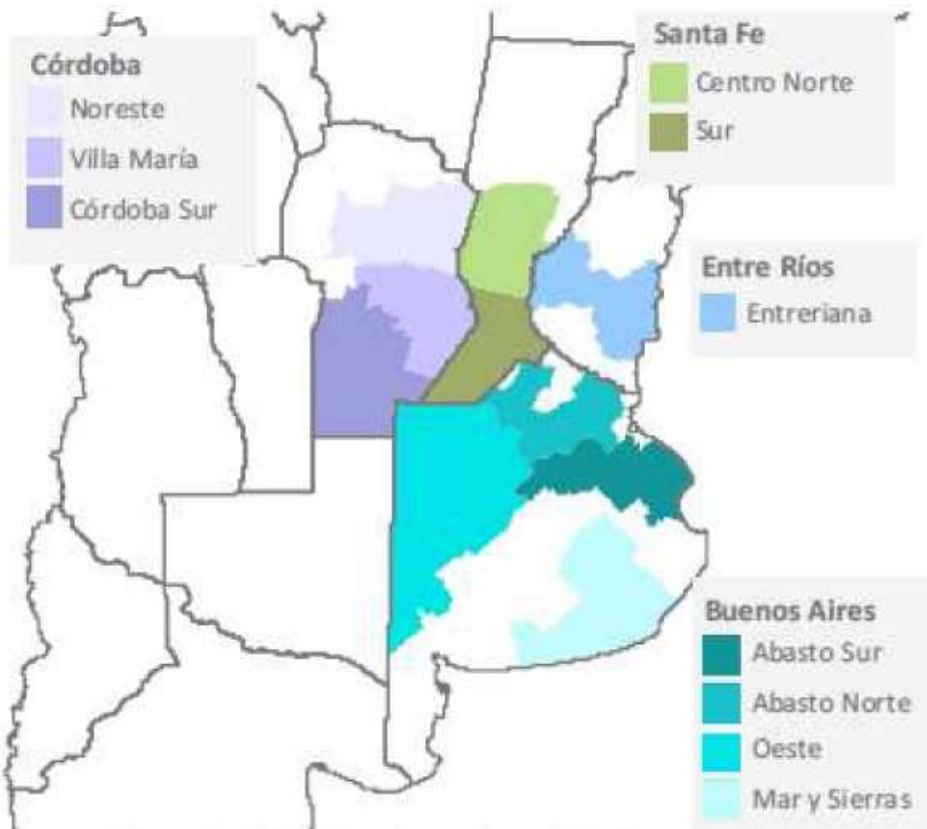


Figura 1. Cuencas lácteas de la Argentina.

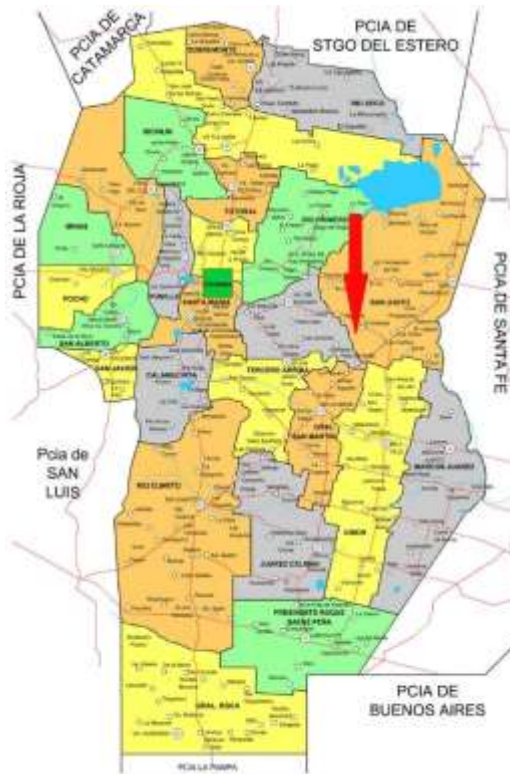


Figura 2. Mapa político de la Provincia de Córdoba, Argentina. Flecha roja: Ubicación de Villa San Esteban.



Figura 3. Vía de acceso al sistema de producción de leche desde Villa San Esteban.

El relevamiento de datos para describir todo lo implicado con el consumo de agua se llevó a cabo a través de una visita campo y de distintas instancias de comunicación con el productor. En la visita a campo se realizó observación directa, se entrevistó al productor y se tomaron fotografías de las instalaciones de ordeño. La guía

de relevamiento utilizada en esta instancia se puede observar en los anexos del presente informe.

Para la cuantificación del consumo de agua se emplearon dos caudalímetros Itrón Multimag Cyble (A y B; figura 4). El A estaba ubicado antes de los tanques de almacenamiento que distribuían el agua para todos los usos, por lo que midió el consumo de agua total del tambo, dado por la preparación de los pezones pre ordeño, el refrescado de la leche, el lavado de la máquina de ordeñar y del equipo de frío, la limpieza de los pisos, la bebida animal, el refrescado de las vacas y el uso en el baño y en la veterinaria. El B se ubicaba a la salida del segundo tanque de almacenamiento, en una cañería que distribuía el agua para su uso en la sala de ordeño, el baño y la veterinaria, y para el lavado de la máquina de ordeñar y el equipo de frío. Por ende, midió dichos consumos de agua, pero no midió los realizados para la limpieza de los pisos, la bebida animal y el refrescado de las vacas. Las lecturas se realizaron diariamente a la misma hora, justo antes de que inicie el segundo ordeño diario, es decir a las 14:45, durante un período de 7 días comprendido entre el 2/11/2021 y el 8/11/2021.

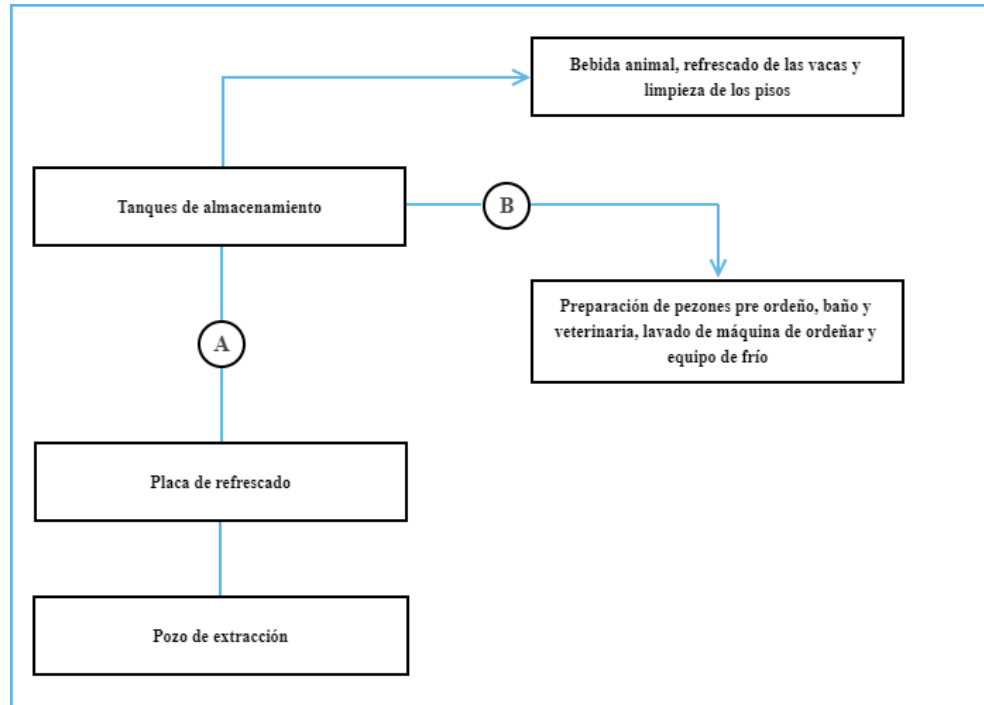


Figura 4. Circuito de agua y ubicación de los caudalímetros A y B.

Para la estimación de los consumos de agua parciales se recurrió a las mediciones realizadas con los caudalímetros y a la información relevada.

Con la información disponible sobre el sistema de producción, en relación al uso del agua, se determinaron las buenas prácticas llevadas a cabo por el productor, se detectaron los puntos críticos, se elaboraron algunas propuestas de mejora y se estimaron los ahorros de agua que se generarían.

RESULTADOS

Sistema de producción

Tipo de sistema de producción, tamaño y producción

Se trata de un sistema de producción intensivo con corrales de tierra a cielo abierto y con sombra artificial (figura 5). Actualmente se ordeñan 270 vacas, con una producción diaria individual promedio de 30 L, alcanzándose una producción diaria promedio en el tambo de 8.000 L.



Figura 5. Vista aérea del sistema de producción de leche. Se pueden observar el tambo, el patio de comida y los corrales de tierra a cielo abierto.

Extracción, circuito y almacenamiento de agua

El agua se extrae de un pozo semisurgente, ubicado en el extremo Oeste de la sala de ordeño y a 150 m aguas arriba de la laguna de efluentes, desde una profundidad de 165 m. Para tal fin se utiliza una electrobomba sumergible, con una potencia de 0,75 HP, que permite un caudal de 5.000 a 5.500 L.h⁻¹. El agua extraída, luego de pasar por la placa de refrescado, se almacena en dos tanques de 3.500 L cada uno para luego ser distribuida en los diversos usos necesarios (figura 4). El día de la visita no se identificaron pérdidas en el circuito de agua.

Superficie del tambo, techos y captación de agua pluvial

La superficie total del tambo es de 740 m² pero el área cubierta por techo de chapa es de 420 m² ya que en el corral de espera, de 320 m², se utiliza media sombra. No obstante, se realiza captación del agua pluvial sólo en 220 m² (ala Norte del techo

del tambo; figura 6). Esta se almacena en un tanque de 20.000 L y se recicla para consumo humano.



Figura 6. Techos del tambo. Polígono azul: Media sombra, corral de espera (320 m²); Polígono amarillo: Chapa, ala Norte del tambo (220 m²); Polígono verde: Chapa, ala Sur del tambo (200 m²); Marcador amarillo: Tanque de almacenamiento de agua pluvial; Marcador verde: Tanque de almacenamiento de agua para la limpieza de los pisos.

Máquina de ordeñar, equipo de frío y placa de refrescado

En la sala de ordeño se cuenta con una máquina de ordeñar GEA, de línea media, de bajada simple, con 20 bajadas. Luego, en la sala de leche, para el acondicionamiento de la misma se cuenta con una placa de refrescado EL MEGA S.L. 9958 y un equipo de frío GEA de 19.600 L. La placa de refrescado tiene, según el fabricante, un consumo de agua de 2,5 L/L de leche y una capacidad de refrigeración de la leche de 2.000 a 2.400 L/h. Cabe aclarar que el paso de agua y leche por la placa de refrescado no está sincronizado, sino que toda el agua que se extrae del pozo pasa por el intercambiador de placas independientemente de si al mismo tiempo pasa leche o no. No obstante, el agua, luego de pasar por la placa de refrescado, se almacena para ser utilizada, en su totalidad, para los diferentes usos posibles (figura 4).

Lavado de la máquina de ordeñar y del equipo de frío

El lavado de la máquina de ordeñar se realiza dos veces al día (luego de cada ordeño) y el del equipo de frío una vez al día generalmente (luego del retiro de la leche). En ambos casos consiste en los siguientes pasos: 1. Enjuague inicial; 2. Lavado alcalino; 3. Enjuague; 4. Desinfección; 5. Enjuague final. Cada tres lavados se realiza

un lavado ácido más otro enjuague entre los pasos 3 y 4 antes mencionados. El lavado es automatizado y, según el fabricante, el consumo de agua por ciclo es de 7 L.bajada⁻¹ para la máquina de ordeñar y de 3% del volumen para el equipo de frío. Excepto el agua del enjuague inicial, el resto se recicla para la limpieza de los pisos, previo almacenamiento en un tanque de 10.000 L (figura 6).

Rutina de ordeño

Se realizan dos ordeños diarios que inician a las 3:30 y a las 14:45 y tienen una duración promedio de 2 h cada uno. Los pasos de la rutina de ordeño son: 1. Despunte; 2. Preparación de pezones pre ordeño con lavatetas automático FutureCow; 3. Colocación de unidad de ordeño; 4. Corte de vacío y retiro de unidad de ordeño automático; 5. Sellado de pezones pos ordeño. En el paso 2, según el fabricante, se utilizan 0,08 L de agua.vaca en ordeño⁻¹.ordeño⁻¹.

Limpieza de los pisos

La limpieza de los pisos se realiza dos veces al día (luego de cada ordeño), sin rabasteo previo, utilizando una manguera a presión. La duración es de 45 min promedio y el caudal utilizado es de 145 L.min⁻¹. Se utiliza agua de pozo y también, como ya se mencionó, el agua del lavado de la máquina de ordeñar y del equipo de frío, excepto la de los enjuagues iniciales. Toda esta agua se almacena en el tanque mencionado previamente (figura 6).

Sistema de refrescado

Finalmente, en el corral de espera se cuenta con un sistema de aspersion y ventilación para el refrescado de las vacas. Se dispone de 12 aspersores, que tienen un caudal de 9 L.min⁻¹ y están temporizados para funcionar 1 min cada 5 min. Los refrescados se realizan desde octubre hasta abril y durante este período del año se llevan a cabo tres refrescados diarios: Durante los dos ordeños, que tienen una duración promedio de 2 h cada uno y durante un refrescado extra ordeño, que tiene una duración promedio de 1 h. No obstante, este último puede no realizarse, según valor del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) y/o según la presencia de síntomas de estrés calórico en las vacas, especialmente jadeo.

Buenas prácticas en el uso del agua

Al conocer al productor y a su establecimiento agropecuario, y a partir de la información relevada, queda en evidencia que en el sistema de producción se tiende a

una gestión sostenible del recurso agua. Las buenas prácticas en pos de la eficiencia en el uso del agua que se detectaron fueron las siguientes:

- > Interés por cuantificar y reducir el consumo de agua.
- > Correcta ubicación del pozo de extracción y de la laguna de efluentes, lo que reduce el riesgo de contaminación.
- > Ausencia de pérdidas en el circuito de agua.
- > Captación del agua pluvial en 220 m² de techo, con posterior almacenamiento y reutilización.
- > Reciclaje de la totalidad del agua que pasa por la placa de refrescado.
- > Muy bajo consumo de agua en la rutina de ordeño gracias a la preparación de pezones pre ordeño con lavatetas automáticos FutureCow.
- > Lavado automatizado de la máquina de ordeñar y el equipo de frío, lo que reduce variaciones de consumo de agua debidas al factor humano.
- > Reciclaje del agua de lavado de la máquina de ordeñar y el equipo de frío (excepto la del enjuague inicial) para la limpieza de los pisos.
- > Temporización de los aspersores y realización de los refrescados extra ordeño según ITH y/o según la presencia de jadeo en las vacas.

Consumo de agua

El consumo de agua medido en el tambo se puede observar en la tabla 1 y en el gráfico 1. El caudalímetro A midió el consumo de agua total del tambo, mientras que el B midió el implicado en la sala de ordeño, el baño y la veterinaria, y en el lavado de la máquina de ordeñar y el equipo de frío, por lo que la diferencia entre ambas mediciones (A – B) representa el consumo de agua en bebida animal, limpieza de los pisos y refrescado de las vacas (figura 4).

El consumo de agua total promedio resultó ser de 53.671,67 L.día⁻¹ y, considerando la producción de leche promedio, fue de 6,71 L.L de leche⁻¹.

Tabla 1. Consumo de agua diario, total y promedio diario, durante los 7 días de medición, comprendidos entre el 2/11/2021 y el 8/11/2021, expresado en L. DE: Desviación estándar (L); CV: Coeficiente de variación (%).

	Período	A	B	A - B
1	2/11/2021 - 3/11/2021	49.370	3.500	45.870,0
2	3/11/2021 - 4/11/2021	65.890	3.800	62.090,0
3	4/11/2021 - 5/11/2021	45.570	4.000	41.570
4	5/11/2021 - 6/11/2021	39.440	4.000	35.440
5	6/11/2021 - 7/11/2021	57.610	3.700	53.910,0
6	7/11/2021 - 8/11/2021	64.150	3.700	60.450,0
	Total	322.030	22.700	299.330,0
	Promedio diario	53.671,67	3.783,33	49.888,33
	DE	10.595,05	194,08	10.683,63
	CV	20%	5%	21%

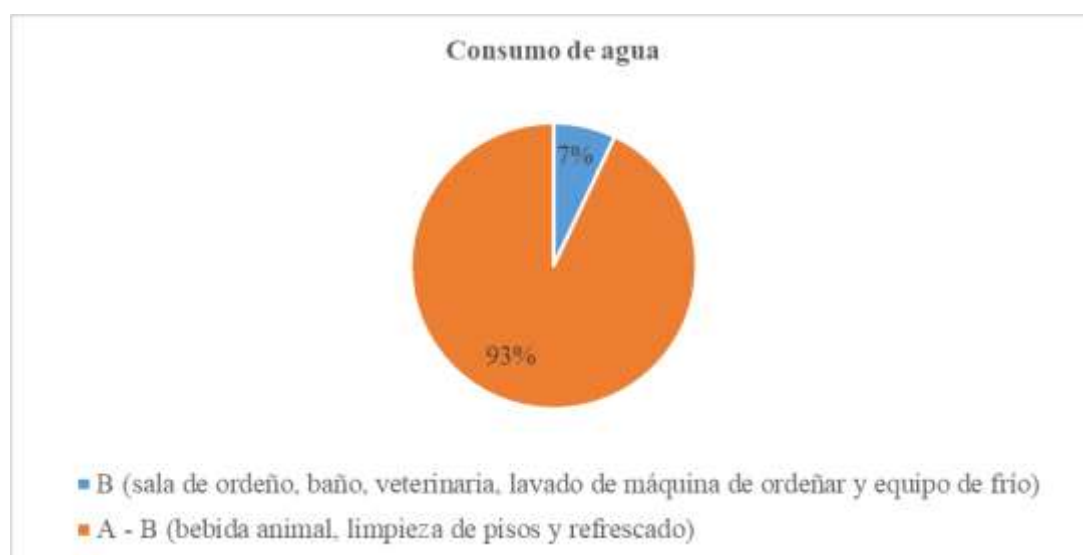


Gráfico 1. Consumo de agua, según uso, en % respecto al total.

Los consumos de agua parciales estimados se presentan en la tabla 2. Si bien son aproximaciones y no se ajustan perfectamente a lo medido por los caudalímetros, son útiles para determinar los puntos críticos, ordenar prioridades y elaborar las propuestas de mejora para realizar un ahorro de agua. Las estimaciones se realizaron de la siguiente manera:

Sala de ordeño =

$$0,08 \text{ L.vaca en ordeño}^{-1} \cdot \text{ordeño}^{-1} \times 2 \text{ ordeños.día}^{-1} \times 270 \text{ vacas en ordeño} =$$

$$43,2 \text{ L.día}^{-1} =$$

Lavado de la máquina de ordeñar =

$$20 \text{ bajadas} \times 7 \text{ L.bajada}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1} \times 5,67^* \text{ ciclos.lavado}^{-1} \times 2 \text{ lavados.día}^{-1} = 1.587,6 \text{ L.día}^{-1} =$$

**Se considera el lavado ácido que se realiza cada tres lavados.*

Lavado del equipo de frío =

$$19.600 \text{ L} \times 3\% \cdot \text{ciclo}^{-1} \times 5,67^* \text{ ciclos.lavado}^{-1} \times 1 \text{ lavado.día}^{-1} = 3.333,96 \text{ L.día}^{-1} =$$

**Se considera el lavado ácido que se realiza cada tres lavados.*

Limpieza de los pisos =

$$145 \text{ L.min}^{-1} \times 45 \text{ min.limpieza}^{-1} \times 2 \text{ limpiezas.día}^{-1} - 20 \text{ bajadas} \times 7 \text{ L.bajada}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1} \times 4,67^* \text{ ciclos.lavado}^{-1} \times 2 \text{ lavados.día}^{-1} - 19.600 \text{ L} \times 3\% \cdot \text{ciclo}^{-1} \times 4,67^* \text{ ciclos.lavado}^{-1} \times 1 \text{ lavado.día}^{-1} =$$

$$8.996,44 \text{ L.día}^{-1} =$$

**Se considera el lavado ácido que se realiza cada tres lavados y que el enjuague inicial no se reutiliza para la limpieza de los pisos.*

Refrescado =

$$12 \text{ aspersores} \times 9 \text{ L.min}^{-1} \cdot \text{aspersor}^{-1} \times 1 \text{ min}/5 \text{ min} \times 300 \text{ min.día}^{-1} = 6.480 \text{ L.día}^{-1} =$$

Bebida animal =

$$(A - B) - \text{Limpieza de los pisos} - \text{Refrescado} = 49.888,33 \text{ L.día}^{-1} - 8.996,44 \text{ L.día}^{-1} - 6.480 \text{ L.día}^{-1} = 34.411,89 \text{ L.día}^{-1} =$$

Tabla 2. Consumos de agua parciales estimados, en L.día⁻¹.

Sala de ordeño	43,2
Baño y veterinaria	-
Lavado de la máquina de ordeñar	1.587,60
Lavado del equipo de frío	3.333,96
Limpieza de los pisos	8.996,44
Refrescado	6.840
Bebida animal	34.411,89
Total	55.213,09
Rutina de ordeño	20.801,20

Según las mediciones y estimaciones realizadas, el consumo de agua más representativo dentro del sistema de producción es la bebida animal, alcanzando los 34.411,89 L.día⁻¹. A su vez, es la que generaría la mayor variabilidad en el consumo de agua (CV = 21% para (A – B) en tabla 1) debido a que está estrechamente relacionada a las condiciones ambientales cambiantes, especialmente al ITH. Luego, le siguen de la limpieza de los pisos y el refrescado de las vacas. Finalmente, los consumos de agua para la preparación de los pezones pre ordeño y el lavado de la máquina de ordeñar y el equipo de frío son relativamente bajos y menos variables. Por otro lado, si no se considera la bebida animal, el consumo de agua implicado en la rutina de ordeño específicamente sería de 20.801,20 L.día⁻¹ y, en función de la producción de leche promedio, de 2,6 L.L de leche⁻¹.

De los usos de alto impacto, la bebida animal no se puede regular fácilmente, ya que las vacas lecheras deben consumir diariamente el agua fresca suficiente que necesiten para poder realizar una producción de leche óptima. En cuanto al refrescado de las vacas, que es una práctica importante para su bienestar y su producción de leche, según se pudo observar y analizar, se realiza de forma adecuada, por lo que tampoco requeriría algún tipo de ajuste. No obstante, se identificó a la limpieza de los pisos como un punto crítico donde se pueden realizar propuestas de mejora para disminuir el consumo agua.

PROPUESTAS DE MEJORA

Captación del agua pluvial para la limpieza de los pisos

Si se captara el agua pluvial que cae sobre el ala Sur del techo del tambo (figura 6), se estarían cosechando las precipitaciones en 200 m² más. Considerando un promedio histórico de precipitaciones de 760 mm anuales, esto significa que se podrían captar, almacenar y reciclar para la limpieza de los pisos 152.000 L.año⁻¹ o 416,44 L.día⁻¹ promedio.

Esta propuesta de mejora es viable ya que, además de producir un ahorro de agua, el ala Sur del tambo ya presenta techo de chapa con las canaletas para captar el agua y, a su vez, al lado se dispone del tanque de almacenamiento de agua para la limpieza de los pisos (figura 6). Es decir que sólo sería necesario realizar unas simples modificaciones.

Uso de rabasto para la limpieza de los pisos

Teniendo en cuenta que la limpieza de los pisos se realiza dos veces al día (luego de cada ordeño), durante 45 min (cada vez) y utilizando un caudal de 145 L.min⁻¹, se utilizan 13.050 L.día⁻¹ de agua para tal fin. Si se implementara el uso de rabasto previo a la limpieza con agua, el consumo de la misma para esta tarea se podría reducir al 50% (Dejtiar, 2019). Es decir que se podría reducir la extracción de agua de pozo en 6.525 L.día⁻¹.

La viabilidad de esta propuesta de mejora radica en el significativo ahorro de agua que generaría, en que se trata de una inversión relativamente pequeña y en que no afectaría o incluso disminuiría el tiempo en el que los operarios deben ser afectados a la limpieza de los pisos.

Propuestas de mejora combinadas

Combinando ambas propuestas de mejora, la captación del agua pluvial en el ala Sur del techo del tambo y el uso de rabasto para la limpieza de los pisos, se estima una reducción del consumo de agua de 6.941,44 L.día⁻¹, es decir del 13% (gráfico 2).

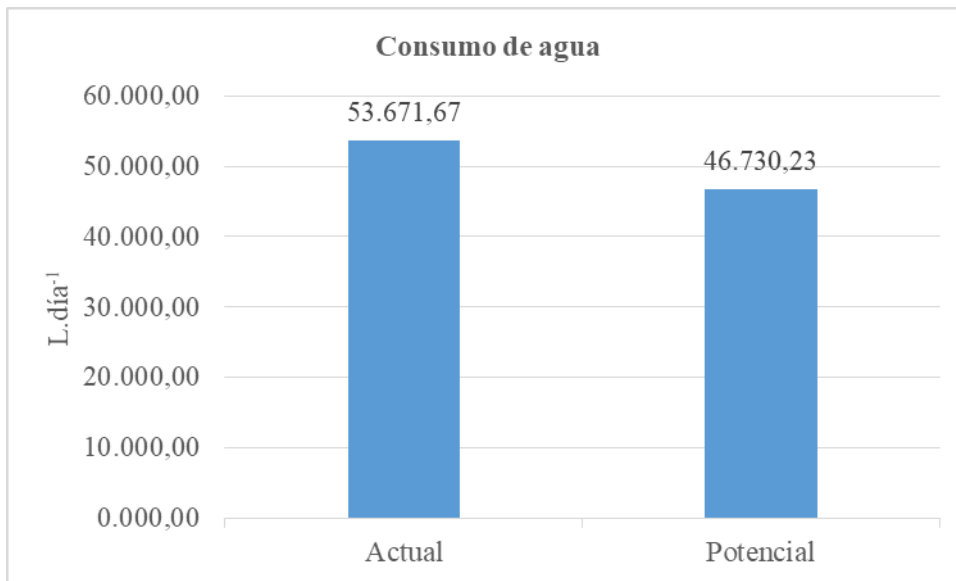


Gráfico 2. Consumo de agua actual y potencial, con las propuestas de mejora elaboradas, en L.día⁻¹.

CONCLUSIONES

> En el sistema de producción de leche estudiado se tiende a una gestión sostenible del recurso agua, a través de una serie de buenas prácticas en pos de la eficiencia en el uso de la misma, convirtiéndose en un ejemplo a seguir para muchos otros establecimientos agropecuarios.

> Se determinó que el consumo de agua más representativo es la bebida animal, seguido de la limpieza de los pisos y el refrescado de las vacas.

> La limpieza de los pisos fue determinada como un punto crítico en el consumo de agua.

> A través de dos propuestas de mejora viables para el tambo, que son la captación del agua pluvial y la utilización de rabasto para la limpieza de los pisos, se estimó un significativo ahorro de agua.

> En un futuro se deberían instalar más caudalímetros en el circuito de agua para poder cuantificar todos los consumos de agua individuales, medirlos durante un período de tiempo más extenso para obtener valores más representativos y así poder generar nuevas propuestas de mejora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUA.org.mx (2017). Agua en el planeta ¿Cuánta agua hay en el planeta? Recuperado de: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/#cuanta-hay> [2021]

Alfaro, M., Salazar, F. (2005). Ganadería y contaminación difusa, implicancias para el sur de Chile. *Agricultura Técnica, Chile*; 65 (3):330-340.

Atkinson, D., Watson, C. A. (1996). The environmental impact of intensive systems of animal production in the lowlands. *Anim. Sci.*, 63: 353-361.

Brumm, M. C. (2002). Sources of manure: Swine (3). Pp. 49-64 en: Hatfield, JL & BA Steward (eds.). *Animal Waste Utilization: Effective use of manure as a soil resource*; 1a ed. Lewis Publishers.

Callinan, L. (2009). Water use in Victorian dairy sheds. Department of Primary Industries, Australia.

Carbó, L. I., Flores, M. C., Herrero, M. A. (2008). Well site conditions associated with nitrate contamination in a multilayer semiconfined aquifer of Buenos Aires, Argentina. *Environmental Earth Sciences* 57(7):1489-1500. DOI: 10.1007/s00254-008-1426-6.

Cepelcha, Z. L., Waskom, R. M., Bauder, T. A., Sharkoff, J. L., Khosla, R. (2004). Vulnerability assessment of Colorado ground water to nitrate contamination. *Water, Air, and Soil Pollution* 159:373-394.

Charlón, V., Taverna, M., y Paniggatti, C. (2000). Cuantificación y caracterización de los efluentes generados en las instalaciones de ordeño. Abstracts 11° Conferencia de la Organización Internacional de la Conservación del Suelo (ISCO'2000).

Charlón, V., Tieri, M. P., Cuatrin, A. (2017). Uso del agua y gestión de los efluentes en Argentina. INTA EEA Rafaela, Información técnica de producción animal 2017, Publicación Miscelánea Año V – Nro. 2, ISSN en línea-2314-3126.

Chimiz, J., Gambuzzi, E. (2007). Recientes cambios y posibles rumbos tecnológicos del tambo argentino. INTA, Proyecto Lechero, Centro Regional Santa Fe.

Dejtjar, A. (2019). Consumo hídrico en tambos de la Provincia de Buenos Aires: Desarrollo de un indicador para evaluar la eficiencia del uso de agua a nivel predial. *Especialización en Gestión Ambiental en Sistemas Agroalimentarios*. Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Díaz Zorita, M., Barraco, M. (2002). ¿Cómo es el balance de P en los sistemas pastoriles de producción de carne en la región pampeana? Biblioteca de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.

Dou, Z., Kohn, R. A., Ferguson, J. D., Boston, R. C., Newbold, J. D. (1996). Managing nitrogen on dairy farms: An integrated approach I. Model description. *J. Dairy Sci.*, 79: 2071-2080.

FunPel (2013). Anuario de la lechería Argentina. Fundación para la promoción y el desarrollo de la Cadena Láctea Argentina. Editorial Inforcampo S.A., Vicente López, Buenos Aires, Argentina.

Gastaldi, L., Engler, P., Litwin, G., Centeno, A., Maekawa, M., Cuatrin, A. (2016). El tambo Argentino: Una mirada integral a los sistemas de producción de leche de la Región Pampeana. PNPA 1126043 “Sustentabilidad de los sistemas de producción de leche bovina”, INTA.

Herrero M. A., Rabuelto, M., Orlando, A., Bruni, O., Charlón, V., Korol, S. (2008b). Identificación de contaminantes en aguas subterráneas en sectores de concentración animal en un tambo. Comunicación. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol. 28 Supl. I.

Herrero, M. A. (2003). La importancia del agua en la producción de leche. *InfoVet* Nro. 59.

Herrero, M. A., Gil, S. B., Sardi, G. M., Flores, M. C., Carbó, L. I., Orlando, A. A. (2006). Transferencia de nutrientes del área de pastoreo a la de ordeño en tambos semiextensivos en Buenos Aires, Argentina. *Rev. InVet.*, 8: 23-30.

Herrero, M. A., Gutiérrez, G., Pazos, D. A., Carbó, L. I., Sardi, G. M. I. (2008) Distribución de contaminantes naturales y antropogénicos en agua subterránea de tambos en la Región Pampeana. *Proceedings V Congreso Iberoamericano de Química y Física Ambiental*. Mar del Plata, Argentina. (1):1-7.

Herrero, M. A., Sardi, G., Maldonado May, V., Flores, M., Orlando, A., Carbó, L. (2000). Distribución de la calidad del agua subterránea en sistemas de producción agropecuarios bonaerenses-II- Condiciones de manejo y grado de contaminación. *Rev. Arg. Prod. Anim.*, 20: 237-247.

Herrero, M. A., Thiel, I. (2002). Water contamination from rural production systems. En: Donoso, MC (ed.). *Water for food and agriculture in the Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)* (3):1-35. Developed under the Auspices of the UNESCO Eolss Publishers, Oxford, UK.

Jjemba, P. (2003). The potencial impact of veterinary and human therapeutic agents in manure and biosolids on plants grown on arable land: a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 93:267-278.

Martínez, J., Burton, C. (2003). Manure management and treatment: an overview of the European situation. *Comunicación pública. International Conference of Animal Hygiene.* México. 12 pp.

Morse, D. (1995). Environmental considerations of livestock producers. *J. An. Sci.* 73:2733-2740.

Naciones Unidas (2010). Resolución 64/292: El derecho humano al agua y al saneamiento. Resolución aprobada por la Asamblea General el 28 de julio de 2010.

Naciones Unidas (2015). Resolución 70/1: Transformar nuestro mundo: la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015.

Negri, L. M., Aimar, M. V. (2019). Guía de buenas prácticas para establecimientos lecheros: Material de referencia de la Red de BPA. Ediciones INTA, Buenos Aires.

Nicholson, F., Groves, S., Chambers, B. (2005). Pathogen survival during livestock storage and following land application. *Bioresour. Technol.* 96(2):135-143.

Nosetti, L., Herrero, M. A., Pol, M., Maldonado May, V., Iramain, M. S., 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. ISSN: 1514-6634.

Nosetti, L., Iramain, M. S. (2001). Evaluación del uso y manejo del agua y efluentes en establecimientos lecheros de la Provincia de Buenos Aires. IX Jornada de Jóvenes Investigadores de la A.U.G.M.

Núñez, M. V., Verellén, M. C. (2007). Problemática ambiental de la actividad tampera en la Cuenca Superior del Arroyo Tandileofú (Partido de Tandil). En: *Actas de V Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales.* En CD. Buenos Aires.

OCLA, 2021. Observación de la Cadena Láctea Argentina. Recuperado de: <https://www.ocla.org.ar/> [2021]

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2002). Agua y cultivos: logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/Y3918S/y3918s00.htm#TopOfPage> [2021]

Organización Mundial de la Salud (2019). Agua. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water> [2021]

Pérez, J. (2020). Huella hídrica de la leche y el queso en un tambo-fábrica de Tandil. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Sánchez, C., Suero, M., Castignani, H., Terán, J., Marino, M. (2012). La lechería argentina: estado actual y su evolución (2008 a 2011). XLIII Reunión Anual de Economía Agraria, Corrientes, Argentina.

Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación (1996). Principales Cuencas Lecheras Argentinas. Departamento de Lechería, Enero 1996, p.40, Buenos Aires, Argentina.

Stone, K., Hynt, P. G., Coffey, S. W., Matheny, T. A. (1995). Water quality status of a USDA water quality demonstration project in the Eastern Coastal Plain. *J. Soil. Water Conserv.* 50:567-571.

Sweeten, J. M., Marek, T. H., McReynolds, D. (1995). Groundwater quality near two cattle feedlots in Texas High Plains: a case study. *Am. Soc. Agric. Eng.*, 11: 845-850.

Taverna, M.A., Charlón, V., Panigatti, C., Castillo, A., Serrano P. (2004). Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. Ediciones INTA, ISBN 987-521-121-4.

Viglizzo, E. F., Roberto, Z. E. (1997). El componente ambiental en la intensificación ganadera. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 17(3):271-295.

Vuksinic, E. (2016). Diagnóstico ambiental de la gestión del agua y de los efluentes en la Escuela Agrotécnica Dr. Ramón Santamarina, Tandil. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Willers, H., Karamanlis, X., Schulte, D. (1999). Potential of closed water systems on dairy farms, *Wat. Sci. Tech.*, 39 (5) : 113-119.

ANEXOS

Guía de relevamiento de la información

- > Sistema de producción:
 - > Tipo.
 - > Número de vacas en ordeño.
 - > Número de ordeños diarios.
 - > Producción diaria promedio.
 - > Producción diaria individual promedio.
 - > Promedio histórico de precipitaciones.
- > Fuentes de agua:
 - > Tipo.
 - > Cantidad.
 - > Profundidad.
 - > Ubicación.
 - > Molinos.
 - > Características de la bomba:
 - > Tipo.
 - > Potencia.
 - > Caudal.
- > Circuito de agua:
 - > Plano de las conexiones.
 - > Pérdidas.
- > Almacenamiento de agua:
 - > Cantidad de tanques.
 - > Volumen de cada uno.
- > Caudalímetros:
 - > Marca.
 - > Modelo.
 - > Cantidad.
 - > Ubicación de cada uno.
 - > Consumos de agua medidos por cada uno.
 - > Método de calibración.
 - > Método de lectura.

- > Tambo:
 - > Superficie.
 - > Captación del agua pluvial.
 - > Volumen de almacenamiento.
 - > Reciclaje del agua pluvial.
- > Máquina de ordeñar:
 - > Marca.
 - > Modelo.
 - > Número de bajadas.
- > Equipo de frío:
 - > Marca.
 - > Modelo.
 - > Volumen.
- > Placa de refrescado:
 - > Marca.
 - > Modelo.
 - > Cantidad.
 - > Consumo de agua según fabricante (L/L de leche).
 - > Capacidad de refrigeración de la leche según fabricante (L/h).
 - > Sincronía con el funcionamiento de la bomba de leche.
 - > Reciclaje del agua.
- > Rutina de ordeño:
 - > Duración del ordeño.
 - > Pasos de la rutina de ordeño.
 - > Consumo de agua del lavatetas automático según fabricante.
 - > Lavado de la máquina de ordeñar:
 - > Frecuencia.
 - > Pasos.
 - > Automatización.
 - > Consumo de agua según fabricante.
 - > Reciclaje del agua.
 - > Lavado del equipo de frío:
 - > Frecuencia.
 - > Pasos.

- > Automatización.
- > Consumo de agua según fabricante.
- > Reciclaje del agua.
- > Lavado de los pisos:
 - > Forma.
 - > Frecuencia.
 - > Duración.
 - > Caudal.
 - > Válvula de corte.
 - > Rabasteo previo.
 - > Utilización de agua de pozo o de efluentes.
 - > Volumen del tanque de almacenamiento del agua.
- > Otras tareas que utilicen agua.
- > Aspersores:
 - > Cantidad.
 - > Caudal de cada uno.
 - > Temporización.
 - > Utilización:
 - > Meses del año.
 - > Ordeños diarios.
 - > Refrescados extra ordeños:
 - > Meses del año.
 - > Cantidad diaria.
 - > Duración.
- > Análisis físico-químicos y microbiológicos.
- > Capacitaciones brindadas a los operarios sobre la eficiencia en el uso del agua.