

Diseño de un tratamiento de efluentes líquidos para un tambo del Partido de Balcarce

Trabajo Final de Graduación para optar por el Título de Ingeniera
Ambiental

Alumna

Agustina Vidal

Directora

María Paula Barral

Co-director

Francisco Stefañuk

Contenido

Agradecimientos	1
Abreviaturas	2
Introducción	5
Capítulo I: Proceso productivo en tambos y generación de efluentes	11
1.1. El Tambo: instalaciones y procesos	11
1.1.1. Instalaciones	11
1.1.2. Proceso	15
1.1.3. Higiene	17
1.2. Efluentes y residuos generados durante el proceso productivo	19
1.2.1. Efluentes líquidos	21
1.2.2. Efluentes gaseosos	26
1.2.3. Desechos sólidos	28
Capítulo II: Tratamientos de efluentes generados en tambos	30
2.1. Tratamientos existentes	31
2.1.1. Tratamiento primario	32
2.1.2. Tratamiento secundario	35
2.2. Destinos alternativos para el efluente tratado	37
2.2.1. Reutilización para fertilización	38
2.2.2. Humedales	39
2.2.3. Manejo del sólido generado	41
Capítulo III: Legislación ambiental	43
3.1. Marco legal nacional	43
3.2. Marco legal de la provincia de Buenos Aires	48
Capítulo IV: Propuesta de tratamiento de efluentes para un tambo localizado en el partido de Balcarce.	53
4.1. Caso de estudio	53
4.1.1. Descripción del medio ambiente físico de la zona de influencia del tambo	54
4.1.2. Descripción del medio socioeconómico de la zona de influencia del tambo	56
4.1.3. Infraestructura	57
4.1.4. Proceso Productivo	57
4.1.5. Efluentes y residuos generados durante el proceso	61
4.2. Propuesta	64
4.2.1. Tratamiento de efluentes líquidos	65
4.2.1.1. Cámara de retención de sólidos	67

4.2.1.2.	Estercolero y playón de sólidos	69
4.2.1.3.	Laguna anaeróbica	73
4.2.1.4.	Laguna facultativa	76
4.2.2.	Aspectos constructivos y viabilidad económica	82
	Conclusiones	90
	Referencias	93

Agradecimientos

A mi mamá Patricia, mi papá Gustavo y mi hermano Enzo, la base de todo. Por estar siempre presente apoyándome y motivándome a lo largo de toda la carrera. Sin ellos no hubiese sido posible nada.

A mis abuelos, los cuatro. Esto es para ustedes.

A mi novio Martín, Kuki y Java, mi familia hoy. Mi soporte, quiénes están todos los días.

A mis amigas, amigos de Balcarce, por crecer juntos y acompañarme en cada paso. A mis amigos de la facu, son lo más lindo que me llevo de esta experiencia.

A mi directora Paula, por motivarme todo el tiempo y ayudar a enfocarme en lo importante, por transmitirme sus conocimientos. A Francisco, mi codirector, por estar dispuesto a ayudar en todo momento.

A cada uno de los profesionales que, desinteresadamente, resolvieron muchas de las dudas que surgieron en el desarrollo del presente trabajo. Especialmente al Ingeniero José Strauss quien, sin conocernos personalmente, fue una parte fundamental para la resolución de inconvenientes presentados.

A todos ellos, infinitas gracias.

Abreviaturas

AACREA: Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola

ADA: Autoridad del Agua

Art.: artículo

BPP: Buenas Prácticas Pecuarias

BUDURH: Banco Único de Datos de Usuarios de Recursos Hídricos

CAA: Código Alimentario Argentino

CE: conductividad eléctrica

cm: centímetros

cm/s: centímetros por segundo

cm³: centímetros cúbicos

COV: compuestos orgánicos volátiles

EEA: Estación experimental agropecuaria

EIA: evaluación de impacto ambiental

GBP: guía de buenas prácticas

GEI: gases de efecto invernadero

grC/kg: gramos de Carbono por kilogramo

gr/ml: gramos por mililitro

ha: hectárea

HP: "horse power"

hs: horas

h/día: horas días

IGM: Instituto Geográfico Militar

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

kg/ha: kilogramos/hectárea

kg/m³: kilogramos/metros cúbicos

kgMF/día: kilogramos de materia fecal por día

kgMS/año: kilogramos de materia seca por año

kg/VO/día: kilogramos por vaca en ordeño por día

km: kilómetros

km²: kilómetros cuadrados

l/día: litros por día

l/VO/día: litros por vaca en ordeño por día

m: metro

m²: metro cuadrado

mg/l: miligramos por litro

ml/l: mililitros por litro

mm/día: milímetros por día

MS: materia seca

msnm: metros sobre el nivel del mar

MO: materia orgánica

NMP: número más probable

OPDS: Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible

PAD: fosfato diamónico

PEAD: polietileno de alta densidad

PM: material particulado o "particulate matter"

ppm: partes por millón

RAS: relación de absorción de sodio

RSU: residuos sólidos urbanos

SMN: Servicio Meteorológico Nacional

SSed: sólidos sedimentables

SST: sólidos suspendidos totales

SSV: sólidos suspendidos volátiles

ST: sólidos totales

UA: uso agronómico

UFC: unidades formadoras de colonia

UFC/ml: unidades formadoras de colonia por mililitro

VO: vaca en ordeño

°C: grados centígrados

μm: micrones

λs: carga orgánica superficial

λv: carga orgánica volumétrica

Introducción

La producción total de leche cruda en Argentina se desarrolla en regiones del país en las denominadas “cuencas lecheras”, estas regiones dentro de las provincias se caracterizan por tener una mayor densidad de tambos (Sanchez, Castignani, Marino, & Suero, 2012). En la provincia de Buenos Aires existen cinco: Mar y Sierras, Oeste, Sur, Abasto Sur y Abasto Norte. La cuenca Mar y Sierras, representa el 9% de los tambos y el 11% de la producción de leche de la provincia.

En las últimas décadas, el contexto económico del país y la fuerte competencia por el recurso tierra han llevado a replantear el modelo de producción de leche en Argentina. Dentro de los principales cambios, se incrementó el número de vacas por tambo, disminuyó la cantidad de unidades productivas y se produjo un cambio en la composición de la dieta animal, reemplazando el pasto por una más concentrada e intensiva (Centeno, 2013). Por otro lado, la pérdida de unidades productivas lecheras, no disminuyó la producción de leche a nivel nacional, la cual se incrementó en 4.000 millones de litros de leche (MAGyP, 2015). Esto permitió que Argentina se posicione como el 2º productor de América Latina y el 11º en el orden mundial. En el año 2019, se produjo en el país un volumen total de 10343 millones de litros de leche, con un promedio mensual de 861,95 millones de litros y una producción diaria promedio por tambo de 2.755 litros/tambo/día (Dirección Nacional Láctea, Secretaría de Gobierno de Agroindustria de la Nación).

Según el Sistema Integrado de Gestión de Sanidad Animal de la Dirección Nacional de Sanidad Animal (Coordinación General de Sistemas Sanitarios, Dirección de Ejecución Sanitaria), en el año 2019 se registró un total de 10.287 unidades productivas y con un stock de 1.623.176 cabezas de bovinos lecheros a nivel nacional. La provincia de Buenos Aires, concentra el 27,4% del total de vacas lecheras del país. Distribuidas en 2.165 establecimientos, subdivididos en 2109 unidades productivas. Esto ubica a la provincia en tercer puesto a nivel nacional, luego de Córdoba y Santa Fe.

Uno de los problemas asociados con el sistema de producción lechera es el elevado consumo de agua y la cantidad de efluentes que genera. Los efluentes provienen de las diversas actividades de las operaciones de ordeño, tales como la limpieza de corrales, sala de ordeño y la máquina de ordeño e higiene de pezones (Willers, Karamanlis, & Schulte, 1999). Por ejemplo, en referencia a los resultados de varios autores se estima que una vaca en ordeño produce diariamente en promedio 50 litros de efluente. Esto, sumado a la elevada demanda de agua para la ejecución de la actividad, resulta en un manejo inadecuado de los recursos naturales con diversos impactos ambientales negativos.

La actividad diaria de un establecimiento lechero de la Provincia de Buenos Aires consume un volumen promedio de agua de 32.144 litros/día, con diversos usos como el refrescado de la leche, el lavado de las máquinas, del tanque de frío, del corral y de los pezones (Nosetti, M.A, et al., 2002). El refrescado de la leche, a través de las placas de enfriamiento, es el proceso que mayor volumen de agua utiliza. Si bien los valores sugeridos por los fabricantes de los equipos de placas son de 2 a 2,5 litros de agua por litro de leche refrescada, los valores obtenidos en el mencionado estudio son de 4,65 a 9,2 litros de agua por litro de leche producida, significando entre el 74,47% al 91,29% del consumo total del agua. De todas formas, esta fracción es la que posee mayores alternativas de reutilización, ya que es agua que no altera su calidad durante el uso. En el caso del lavado de piso de corrales y sala, corresponde un 13 a 17% del total de agua,

completando el resto del consumo de agua el lavado de la máquina de ordeño y la preparación de ubres. La rutina de lavado de la máquina de ordeño implica dos lavados diarios (luego de cada ordeño), el volumen de agua utilizado depende del tamaño de la máquina de ordeño, diámetros de líneas de leche, capacidad del recibidor, etc. El tanque de frío, se lava una vez al día luego de retirada la leche. Dentro del volumen considerado para el lavado de máquina de ordeño, se incluye el agua necesaria para enjuagues y lavado propiamente dicho. Para el lavado de pisos el volumen necesario es de 18,07 y 22,87 litros por vaca en ordeño (Iramain et al., 2001).

El consumo de agua desmedido y una utilización ineficiente del recurso acarrea consecuencias en la generación de los efluentes. Los efluentes o residuos que se originan en las instalaciones de tambo están formados por un componente líquido (agua del lavado de instalaciones y corrales, orina, restos de leche, detergentes y otros productos utilizados), un componente sólido (excretas) (Diez, 2012) y un componente gaseoso (gases con efecto invernadero) (María A. Herrero & Gil, 2008). Según Taverna (2006) en sistemas lecheros donde las vacas tienen dieta a base pastoril, cada animal en ordeño genera entre 14 y 24 litros de efluentes por día, sin considerar el agua utilizada por la placa de refrescado y el agua de lluvia. La cantidad aproximada de deyecciones que produce un vacuno por día es de 50 kg de materia fecal (V Charlón, 2013), las deyecciones producidas contienen aproximadamente un 25% de materia seca, conteniendo un 2,2% de nitrógeno y 0,8 % de fósforo sobre base seca. En condiciones normales, la cantidad de excretas vertidas en el área será proporcional al tiempo de permanencia en ésta. A su vez, según un comunicado de SAyDS (2007), las vacas lecheras en producción emiten unos 111 kg/VO/año de metano. Según María A. Herrero & Gil, (2008) por cada kg de leche producida, se generan 29 gramos de metano. Por lo tanto, la composición del efluente es elevada tanto en sólidos, como nutrientes, materia orgánica, microorganismos patógenos, gases y puede contener metales pesados, hormonas y drogas de uso veterinario.

En varias cuencas lecheras de Argentina, a través de un relevamiento realizado por Nosetti, Herrero, et al. (2002), se encontró que la mayoría de los tambos encuestados (58,53%) eliminaban los desechos a algún tipo de laguna artificial y de éstos, el 80% elimina los líquidos finales de las lagunas en algún curso de agua. En general, las lagunas no son diseñadas previamente para que cumplan la función de tratamiento del efluente, evidenciando una carencia con respecto a la remoción de los contaminantes más importantes que se ven involucrados en este proceso. A su vez, existe un 20% de los tambos que vierte sus efluentes sin previo tratamiento a algún curso de agua (arroyo o lagunas naturales cercanas). El resto de los tambos elimina los desechos en algún potrero del establecimiento como destino final.

Las deficiencias en la construcción y manejo de las perforaciones, las fuentes de contaminación cercanas a los pozos (corrales y lagunas) y el desconocimiento de los productores sobre el manejo del agua y los efluentes, son consideradas causas frecuentes de contaminación de las distintas fuentes de agua (Nosetti, M.A, et al., 2002). Los contaminantes presentes en las excretas pueden alcanzar los cuerpos de agua superficiales, ya sea, desde corrales y terrenos fertilizados con estiércol o por desborde de lagunas de efluentes (Galindo, Herrero, Korol, & Fernández Cirelli, 2004). Los principales contaminantes son el nitrógeno (N) y el fósforo (P), que provienen tanto de sistemas pastoriles como confinados. La acumulación de ellos puede afectar la calidad del suelo e incidir en la calidad de otros recursos, como el agua y el aire. Estos contaminantes, en particular el N, pueden llegar a los cuerpos de agua superficial por escurrimiento (María A. Herrero & Gil, 2008) y a las aguas subterráneas por infiltración y lixiviación. En Argentina, se detectaron excesos de nitratos (>150 ppm) en aguas subterráneas cercanas a instalaciones de ordeño sin tratamiento de efluentes (María Alejandra Herrero et al.,

2000). En tambos de las principales cuencas lecheras de la Región Pampeana, los nitratos superaron los 45 ppm, y entre el 26 y 66% de las muestras de agua tomadas de las perforaciones de las instalaciones de los tambos no resultó apta para consumo humano (María A. Herrero & Gil, 2008).

Además, de la contaminación por nutrientes, los desechos animales contienen microorganismos que pueden alcanzar las aguas superficiales y subterráneas. M. Herrero et al. (2002) demostraron que el 70% de las perforaciones de instalaciones de ordeño relevadas presentaron contaminación de origen microbiano. Los residuos de drogas de uso veterinario y de hormonas en cuerpos de agua es un tema de interés reciente. La descarga directa de lagunas de tratamientos cuyos sistemas no son capaces de remover estos residuos, o el escurrimiento desde suelos abonados, son las causas principales de contaminación (Davis, Truman, Kim, Ascough, & Carlson, 2006). Estudios recientes realizados por María A. Herrero & Gil (2008) en Argentina, mostraron que sobre cepas aisladas de *Escherichia coli* de lagunas de efluentes de tambo, las mismas presentaron una resistencia elevada a diversos antibióticos.

Según María A. Herrero & Gil (2008) otro grupo de contaminantes que afectan al recurso suelo y agua, son los metales. Los más relevantes son arsénico (As), cobre (Cu), cobalto (Co), manganeso (Mn), selenio (Se) y cinc (Zn). Sus proporciones dependen de la dieta del animal y de acuerdo a Burton & Turner (2003) los efluentes de bovinos lecheros están compuestos por 0,9 kg/ha de Zn, 0,3 kg/ha de Cu, 0,03 kg/ha de Ni, 0,04 kg/ha de Pb, 0,03 kg/ha de Cr y 0,01 kg/ha de As. Los metales son retenidos en las partículas del suelo, pero al ser erosionadas por escorrentía pueden llegar al agua superficial y por lixiviación al agua subterránea.

Otro aspecto que afecta la calidad de agua son los sólidos sedimentados, ya que pueden alterar el color, la turbidez y la temperatura de un curso de agua mientras que los sólidos en suspensión, debido a la reducción en el pasaje de la luz solar reducen la fotosíntesis de las plantas (Vasallo, Gutiérrez, Cabrera, Benítez, & Gutiérrez, 2008). Simultáneamente, los nutrientes originados en la producción de leche, el nitrógeno y fósforo, debido a sus características físico químicas pueden incrementar el riesgo de contaminación de suelos y aguas, favoreciendo el crecimiento desmesurado de plantas acuáticas y algas, alterando el ecosistema. Según la especie química en la que se encuentra, el nitrógeno es causante de diversos impactos. Los elevados niveles de nitratos en agua potable, por ejemplo, presentan un problema para la salud humana, ya que su ingesta reduce la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre. Y, por otro lado, el alto contenido de fósforo favorece el crecimiento de bacterias y hongos. La presencia de fósforo, en forma de fosfatos, puede producir un crecimiento acelerado de algas y vegetación acuática, causando así eutroficación en sistemas acuáticos (Rao & Prasad, 1997) que a su vez disminuye la concentración de oxígeno disuelto y provoca la mortalidad de peces (Turner & Haygarth, 2000), proliferación de bacterias, hongos y protozoos en cursos de agua superficial, alterando el equilibrio ecológico y de los ciclos biogeoquímicos. El fósforo es poco frecuente como contaminante del agua subterránea, ya que los fosfatos se fijan a las partículas coloidales del suelo. Sin embargo, existen estudios que muestran que tanto el exceso en la aplicación de estiércol como el uso indiscriminado de fertilizantes puede llegar a valores de 7 ppm en agua subterránea a 6 metros de profundidad (Rao & Prasad, 1997), y entre 50 y 90 ppm en el agua de lisímetros colocados a 50 cm de profundidad (Volpe, Sardi, Carbó, Gutierrez, & Ormazabal, 2008).

Los gases que se liberan en la actividad tambera y generan contaminación del aire son: gases con efecto invernadero, amoníaco, compuestos orgánicos volátiles, partículas aéreas. Los

principales gases con efecto invernadero producidos son el metano y el óxido nitroso, mientras que la participación del dióxido de carbono aumenta en la medida que se intensifica la producción ganadera (SAyDS, 2007). El amoníaco es otro gas producido, que a partir de 20 ppm produce irritación en las mucosas y en el aire reacciona con otros gases (sulfhídrico, nítrico), los cuales se depositan en el suelo por las precipitaciones contribuyen a la acidificación. La acumulación de las excretas, alimento y animales en espacios reducidos también libera otra serie de gases y vapores que despiden olores, en su mayoría desagradables. Los compuestos orgánicos volátiles que pueden ser aportados por esta actividad son el etano, la acetona, etc., a partir del estiércol y, en ocasiones, pueden formar ozono troposférico, generando otro problema ambiental como el smog fotoquímico. Además, irritan las vías respiratorias (Morse, 1995). Las partículas que contaminan el aire pueden clasificarse según su tamaño en PM (“particulate matter”) 10 micrones y PM 2,5 micrones. Las PM 10 micrones si proceden del estiércol seco, pueden irritar las vías respiratorias y transportar hongos, bacterias y virus. Las PM 2,5 micrones son irritantes de mucosas y, según su tamaño pueden permanecer suspendidas en la atmósfera, desde uno o dos días, y hasta varios días o semanas cuando las partículas son más pequeñas (Sweeten, Parnell Jr, Shaw, & Auvermann, 1998).

En Argentina, se ha registrado en los últimos años, una tendencia a la intensificación y concentración de los rodeos lecheros. Esto sumado al cambio de conciencia y presiones nacionales e internacionales para el cumplimiento de normativas y exigencias del mercado, conduce a la necesidad de implementar prácticas sostenibles para preservar el ambiente y asegurar la calidad e inocuidad de los alimentos desde su origen. No existe actualmente en Argentina, una legislación específica que se refiera a los residuos generados en las instalaciones lecheras. Sin embargo, de acuerdo a sus características físicas, químicas y biológicas se enmarcaría en distintas leyes y resoluciones que se refieren a vertidos industriales líquidos.

El Artículo 41 de la Constitución Nacional posee la jerarquía más alta en materia legal, seguida por la Ley Nacional de Presupuestos Mínimos (Ley 25.675: “Ley general del ambiente”), donde se establece que cada provincia en forma particular puede redactar su propia legislación pudiendo ser igual o más estricta, pero nunca menos que la original. También cabe destacar la Ley Nacional 25.688, “Régimen de Gestión Ambiental de Aguas”, que instituye los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. Y en última instancia es necesario nombrar, aunque no esté relacionado con la regulación de los efluentes generados por la actividad lechera, al Código Alimentario Argentino conformado por la Ley 18.284. Se encuentran las definiciones y los parámetros básicos que regulan la calidad y composición de los diversos alimentos producidos en Argentina, entre ellos la leche. A nivel provincial, la ley que compete a la presente problemática es la Ley 5.965 de “Protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera” y la Ley 12.257 “Código de aguas”, que tiene como objeto reglamentar, supervisar y vigilar todas las actividades y obras relativas al estudio, captación, uso, conservación y evacuación del agua. En dicha ley se constituye el ente autárquico “Autoridad del Agua (ADA)” quien dispone la Resolución 336/03. En dicha resolución se exponen los límites permisibles de cada parámetro físico-químico y bacteriológico de las descargas de efluentes, realizando una discriminación para cada cuerpo receptor. También es aplicable la reciente Resolución 2222/19 - ADA, la cual es necesaria para dar de alta el establecimiento, entre otras cosas que asimismo derogó a la Resolución 333/17. A su vez, si bien la Resolución 017/13 del mismo organismo de control, en la cual se exponen los requisitos necesarios para la aprobación de obras de tratamientos de efluentes líquidos generados por tambos fue derogada, se considera importante ya que expresa un precedente en términos de normativa específica de la provincia de Buenos Aires respecto esta temática.

Recientemente, en septiembre de 2018, se emite la Resolución Firma Conjunta 737, en la que se aprueba el “Uso Agronómico de los efluentes generados en los establecimientos dedicados a la producción primaria de leche y/o masa para mozzarella en Tambos”. Mientras que, a nivel municipal no se encontraron normativas específicas competentes a la presente problemática.

Para cumplir los requisitos establecidos por la ley y para garantizar que la actividad en tambos no sea perjudicial para el ambiente y la salud es necesario que cada establecimiento cuente con un tratamiento de efluentes apropiado y acorde a las características del mismo y del entorno. Los tratamientos de efluentes líquidos, generalmente, emplean pretratamientos, tratamientos primarios, secundarios y terciarios, aumentando en complejidad de acuerdo al tipo de agua residual que se desee tratar (Metcalf et al., 1995). El presente trabajo final ha sido elaborado con el fin de orientar y poner al alcance de productores involucrados en la producción lechera, una serie de prácticas y/o opciones tecnológicas con el objetivo de prevenir impactos ambientales adversos, revalorizar agronómicamente el efluente y los residuos orgánicos generados y mejorar la calidad del producto, contribuyendo a la mejora continua de la producción.

Objetivo general

- Revisar y sintetizar las alternativas de tratamiento de efluentes en tambos y proponer el tratamiento más adecuado para un caso de estudio en el partido de Balcarce.

Objetivos específicos

- Revisar y sintetizar el proceso productivo lechero y los efluentes generados.
- Revisar y sintetizar los antecedentes sobre tratamiento de efluentes en tambos, con el fin de orientar y poner al alcance de productores lecheros las prácticas y opciones tecnológicas disponibles para prevenir impactos ambientales, revalorizar agronómicamente el efluente y los residuos generados.
- Revisar la legislación nacional, provincial y municipal sobre la regulación de la actividad y el manejo de efluentes.
- Seleccionar y proponer el tratamiento más adecuado para un tambo del partido Balcarce, incluyendo el análisis técnico y económico.

Abordaje metodológico general

Para la revisión y síntesis de las temáticas mencionadas en los objetivos específicos se procedió a la búsqueda de trabajos científicos y/o boletines técnicos (se utilizó el buscador Google Académico). Las síntesis realizadas se presentan en los primeros tres capítulos. Para algunas cuestiones específicas se procedió a la consulta a expertos, como técnicos de la Subsecretaría de Producción y Empleo del Municipio de Balcarce, Ingenieros con experiencia en tratamiento de efluentes líquidos, Geólogos con conocimientos en movimiento de contaminantes en suelo y aguas subterráneas y profesionales en el área de sanidad animal.

Luego, en el capítulo IV se presenta la propuesta de tratamiento de efluentes para un tambo ubicado en el partido de Balcarce. Para la recopilación de la información necesaria para el caso de estudio se realizaron visitas al establecimiento y se procedió a entrevistar a los encargados del tambo (dos médicos veterinarios). También en este capítulo se utilizó una herramienta que estima el volumen de efluente diario generado a partir de una serie de datos de

entrada (Morín et al., 2017), la cual puede ser descargada en forma gratuita¹. Finalmente, en el último apartado de este trabajo se exponen las conclusiones generales.

¹ <https://www.crea.org.ar/caculo-de-efluentes/>

Capítulo I: Proceso productivo en tambos y generación de efluentes

1.1. El Tambo: instalaciones y procesos

La producción de leche involucra un extenso camino desde el ordeño hasta su ingreso en una planta industrial donde es procesada, por lo tanto, el seguimiento y control de la materia prima es muy importante para garantizar la calidad higiénica y sanitaria. Identificar cada una de las etapas en las que se ve involucrada una operación unitaria durante el proceso productivo de la actividad tambera resulta difícil. En contrapartida con los procesos habituales provenientes de las industrias alimenticias, químicas, etc., en las que se observan etapas de producción bien definidas, la industria tambera presenta un proceso productivo más integrado.

Pese a la poca complejidad de los procesos *per se*, si el objetivo es alcanzar un producto homologable y de buena calidad, se debe prestar gran atención a la correcta ejecución de estas actividades. Es por esto, que en cada instancia deberían incorporarse pautas de las buenas prácticas ganaderas. Debido al creciente interés por parte del consumidor y a la necesidad de estandarizar las actividades productivas, se establecen un conjunto de normas conocidas como Buenas Prácticas Pecuarias (BPP). Estas medidas mínimas de manejo, higiénicas y sanitarias permiten alcanzar y mantener los parámetros de calidad definidos, y a su vez, tienen el objetivo que la empresa ganadera sea sostenible ambiental, económica y socialmente.

Con el fin de comprender detalladamente el proceso, a continuación, se identifican las instalaciones en las que se lleva a cabo cada actividad. Luego, se presenta una descripción de las actividades involucradas en un tambo con el fin de poder localizar posteriormente, a modo de un diagrama de flujo, las entradas y salidas de dicha gestión.

1.1.1. Instalaciones

Las instalaciones presentes en todo el predio varían en base al grado de intensificación de cada tambo y la magnitud de la empresa, generalmente se cuenta con una manga, una balanza, comedores, bebederos, molinos, corrales donde puedan circular los animales, silos, acceso al tambo y a la ruta, áreas para las crías. A continuación, se describen las instalaciones de un tambo de acuerdo a las recomendaciones propuestas por el manual de gestión integral de la empresa tambera (SanCor, 2009) y por la guía de buenas prácticas para tambos (Negri & Aimar, 2016), por lo tanto, la descripción representa un tambo en sus “mejores condiciones”.

Accesos al predio e instalaciones del tambo

- Ingreso de vehículos: es un área con espacio suficiente para el acceso y las maniobras de vehículos para transporte de recolección de leche y otros. Por lo general, tienen un ancho no menor a 6 m, caminos abovedados y cunetas libres de obturaciones.
- Tránsito de vacas hacia las instalaciones de ordeño: son callejones amplios, abovedados, con cunetas libres de obturaciones, con permanente mantenimiento y buen drenaje. Los materiales de uso para los accesos varían entre: arena, cal, piedras, tierra colorada, broza calcárea, etc.

- Acceso al corral de espera: es un callejón hasta el ingreso al corral con tranqueras con un ancho entre 3-6m.

Corral de espera

El corral de espera, desde el punto de vista del confort animal, debería ser cómodo y seguro. Las dimensiones varían acorde a las posibilidades máximas que permita el establecimiento y las condiciones de manejo (carga animal y división de lotes). En caso de división de lotes, se considera el de mayor tamaño (se suele calcular entre 1,3 a 1,5 m² por vaca en ordeño). Se pueden identificar:

- Accesos: suelen tener dos accesos como mínimo (para los días de lluvia).
- Cerco: puede ser de postes y madera o caños galvanizados o combinados, la baranda inferior está a unos 0,50 m del piso mientras que la superior está por encima de 1,50 m de altura.
- Piso: por lo general tiene un espesor de 0,10 a 0,12 m y una rugosidad anti resbalamientos. Las más utilizadas y recomendadas son las hendiduras paralelas de 1 a 2 cm de ancho por 1 cm de profundidad, que están separadas cada 10 cm en dirección al sentido de circulación de los animales.
- Pendientes: son de hasta 4%, en sentido opuesto a la circulación de los animales (pendiente opuesta al acceso de los animales a la sala de ordeño).
- Media sombra, ventilación y aspersores: la utilización de media sombra no es suficiente para mejorar el confort y la producción durante el verano. La combinación de aspersores y ventilación (en confinamiento y/o corral de espera) es utilizada en gran medida ya que da muy buenos resultados, sobre todo en vacas de alta producción. La instalación de medias sombras en el corral de espera suele tener una altura mínima de 3 m. Los aspersores están ubicados cada 5 m, la cañería de conducción de agua habitualmente es de plástico de 0,5 a una pulgada y los ventiladores según su diámetro. A modo de ejemplo, si el diámetro es de 0,90 m, se coloca lateralmente cada 6 m.

Sala de ordeño²

La sala de ordeño, desde el punto de vista del confort animal, tiene que ser cómoda y segura. Además, debe contar con adecuada ventilación e iluminación. Existen de diferentes tipos como parada convencional, tándem y espina de pescado. Esta última es la que se utiliza habitualmente en los tambos de la Provincia de Buenos Aires.

La sala espina de pescado es una sala de dos niveles, en el elevado se acomodan las vacas y en el bajo (fosa de 75 a 80 cm de profundidad) se ubican los ordeñadores. Los animales quedan inmovilizados con un espacio limitado por dos puertas, una de entrada y otra de salida, ubicadas en los extremos de cada fila por una estructura metálica a lo largo del borde del pasillo de las vacas, por lo general tiene la forma de zig-zag. Se pueden identificar:

- Ingresos: conviene que el ingreso de las vacas sea frontal, en línea recta desde el corral de espera, para un rápido ordenamiento de los animales en los bretes.
- Paredes: suelen ser lisas y lavables, con una altura mínima de 2,50 m en su parte más baja. En las instalaciones donde existe una pared lateral al norte, la misma suele ser

² Para la descripción de este apartado se utilizó también el Manual de capacitación de mejora continua de la calidad higiénico-sanitaria de la leche de vaca (Martínez et al., 2011).

- abierta o con una altura de hasta 1,50 m, en toda su longitud, de esta forma permite iluminación y ventilación adecuadas. La pared del lado sur es la que brinda protección.
- Comederos: son de mampostería, caños galvanizados con bateas de plástico, de madera, etc. En caso que sean de mampostería, tienen una pendiente similar al piso, con un drenaje en un extremo, de modo que permite su escurrido.
 - Pisos: estila un espesor de 0,10 m y una rugosidad anti resbalamientos. Las más utilizadas y recomendadas son las hendiduras paralelas de 1 a 2 cm de ancho por 1 a 2 cm de profundidad, separadas cada 10 cm en dirección al sentido de circulación de los animales. Las pendientes son de 0,8% a 1,5% hacia el recibidor. Lo mismo para el piso de la fosa de ordeño.
 - Salida de vacas: se suele tener en consideración 2 o 3 salidas para los días de lluvia. A su vez evitan pendientes pronunciadas; en caso de tener rampas, las mismas no suelen tener una pendiente superior al 4%. Otra alternativa utilizada son los escalones con una altura máxima de 0,20 m y peldaños de, al menos, 1m.

Sala de enfriamiento o sala de leche

La sala de enfriamiento es el sector donde se garantiza el almacenamiento seguro para la leche obtenida hasta su retiro. Esto implica que cuentan con protección de animales, insectos e inclemencias climáticas (vientos y lluvias). Por lo tanto, el ambiente suele ser cerrado, aportando seguridad a la conservación de la leche. Las paredes suelen ser lisas y fácilmente lavables, algunas revestidas con cerámicas, o cuentan con otra terminación, como pinturas lavables (ejemplo: tipo epoxi). Los pisos deben permitir la correcta limpieza y el drenaje. Suelen ser alisados o con revestimiento, cerámico, y poseen pendientes e instalaciones de drenaje, de manera que se facilita la eliminación de líquidos de lavado del equipo de frío y/o de ordeño. Por último, para los techos se recomienda que estén limpios, libres de óxido y con mantenimiento y en instalaciones ideales cuentan con: ventilación (se utilizan extractores ubicados en la parte superior de la pared, en un extremo de la sala, o extractores eólicos sobre los techos) y tirantería de madera (evita el contacto de metales diferentes, minimizando los procesos corrosivos).

Instalaciones eléctricas

Los tambos deberían contar con instalaciones ejemplares que no presenten riesgos para el personal y/o animales, y posean protección (disyuntores), con cables ordenados y protegidos. Los elementos lumínicos no deben estar ubicados arriba de la entrada de inspección del tanque de frío, y deben estar protegidos de manera de evitar posibles caídas de vidrios por roturas. A su vez, contar con protección contra insectos y compatibilidad con las necesidades de cada sector. Ante posibles cortes de energía eléctrica, el tambo debería contar con un equipo auxiliar (generador/tractor usina) para contar con medios para continuar con la actividad sin riesgos para el producto.

Además, cada tambo debería contar con la cartelera y señalización adecuada de las diferentes áreas de instalaciones y de los circuitos de leche, agua y combustibles. A continuación, se presenta un esquema de una instalación tipo espina de pescado (Figura 1).

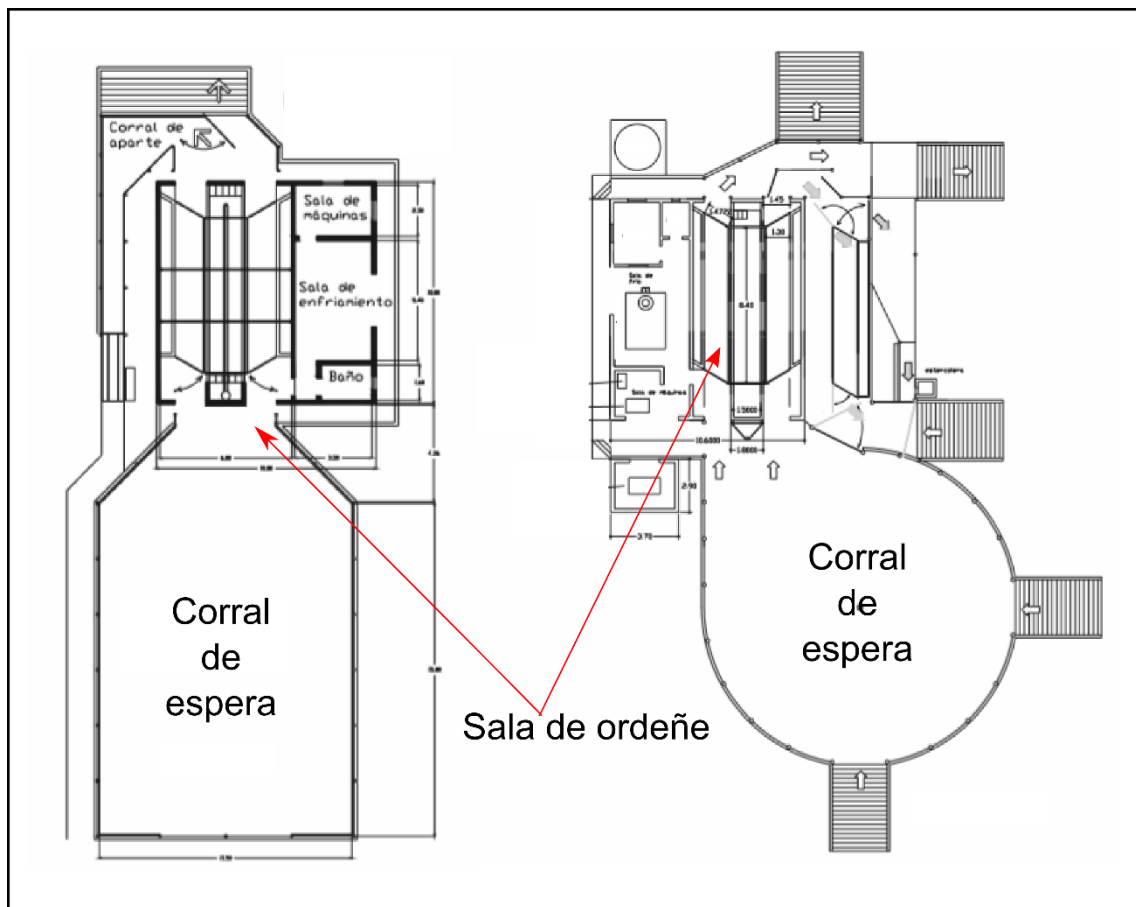


Figura 1. Instalación del sistema de ordeño tipo espina de pescado con corral rectangular (izquierda) y corral circular (derecha).
Fuente: SanCor (2009)

A continuación, se explican las fases que transita la leche desde el punto de vista de equipamientos. Iniciando el camino con la ordeñadora y finalizando en el tanque de almacenamiento.

1.1.2. Proceso

Ordeño

La rutina de ordeño es el conjunto de prácticas que comienza en el momento que la vaca sale del sitio de alimentación hasta que regresa, permitiendo la cosecha de la leche sin alterar la calidad de la misma, con la más eficiente utilización de las instalaciones disponibles y la mayor productividad de la mano de obra (SanCor, 2009). La ordeñadora, maquinaria necesaria para el presente proceso, funciona mediante energía eléctrica o con motor de gasolina. Es un sistema de tubos cerrados por los cuales la leche circula desde la ubre hasta el tanque de almacenamiento en frío. La extracción de la leche y el transporte de la misma se hacen por medio del vacío. Durante el proceso de ordeño, la leche solamente tiene contacto con el interior del sistema, lo que reduce notablemente las posibilidades de contaminación externa. Previo al ordeño se suelen tener en cuenta una serie de prácticas recomendables como (SanCor, 2009):

- Se trasladan los animales hasta el corral de espera de manera calma. Esto permite detectar anomalías en el comportamiento, manifestaciones de celo y otras características. Generalmente se acarrearán dos veces por día y siempre a la misma hora, con intervalo de 12 horas entre mañana y tarde.
- Se planifica el orden de ordeño, considerando especialmente a los animales con tratamiento, los que serán ordeñados al final, evitando posibles envíos de leche con inhibidores a la planta industrial y reduciendo el riesgo de contagiar a las vacas que están sanas. El ordeño comienza entonces con el rodeo de vacas sanas, continúa con las vacas con calostro, la leche se deposita en un tarro aparte. Las vacas enfermas y aquellas que se encuentran en tratamiento con medicamentos veterinarios son ordeñadas al final y se descarta la leche.
- Se comprueba, con alguna regularidad, la salud de las ubres, utilizando algún test que permita identificar cuartos con problemas de mastitis.
- Se estimula y elimina los primeros chorros (o “despunte”), al menos dos chorros de cada pezón, preferentemente en un recipiente de fondo oscuro que permite visualizar las características de la leche e identificar claramente potenciales problemas. Nunca se tira estos chorros de leche al suelo ni mezclan la leche proveniente de vacas enfermas con leche de vacas sanas.
- Se limpian y sanan los pezones cuidadosamente con agua y se secan con toallas descartables de papel con el fin de eliminar cualquier suciedad para luego colocar la unidad de ordeño.
- Algunos proponen un pre sellado a cada pezón con una solución desinfectante, en la cual se sumerge al menos $\frac{3}{4}$ del pezón en dicho líquido y se lo deja actuar 30 segundos. Depende el productor, algunos llevan a cabo este paso durante la práctica y otros no.

Durante el ordeño, las prácticas más recomendadas y llevadas a cabo son:

- Se comprueba el vacío de ordeño.
- Se coloca la unidad de ordeño inmediatamente después de la preparación de la ubre, evitando entradas de aire.
- Se simula el movimiento del ternero al mamar, con una duración de 4 a 7 minutos por cada vaca (Uribe T et al., 2011).
- Se evita el sobre ordeño, es decir, que las pezoneras sigan colocadas sin existir circulación de leche.
- Se comprueba el vaciado de las cisternas de ubre antes de retirar la unidad.
- Se retira el grupo de pezoneras con el cierre del vacío (SanCor, 2009). Esto se realiza a

través de la válvula incorporada al colector y de este modo, el ingreso de aire por el orificio del colector hará que en pocos segundos las cuatro pezoneras se desprendan solas, sin lastimar ni estirar los pezones.

Posteriormente al ordeño se efectúa un sellado de los pezones de la vaca, a través de una solución iodada, la cual previene la infección con microorganismos mientras el orificio del pezón permanece abierto. El producto sellador también suele tener agentes suavizantes, que humectan y mejoran la piel de los pezones. En síntesis, una correcta rutina de ordeño suele presentar los siguientes pasos:

- Arreo tranquilo de las vacas desde el potrero hasta el corral de espera.
- Ingreso al corral de espera.
- Ingreso a la sala de ordeño.
- Extracción de los primeros chorros (o “despunte”).
- Lavado y secado de los pezones (estimulación).
- Colocación de las pezoneras.
- Retiro de las pezoneras.
- Desinfección de los pezones.

Luego de todo este proceso, la leche sigue su recorrido. Es necesario que se enfríe y conserve a 4/5°C, a través de un circuito integrado de cañerías, la leche atraviesa una placa de enfriamiento y luego es transportada hasta un tanque de almacenamiento. En la placa de enfriamiento o refrescado se tienen en cuenta las siguientes condiciones:

- La cantidad de placas debe guardar relación con los litros de leche ordeñados por hora en el tambo.
- Según las recomendaciones de los fabricantes pasan entre 2 y 2,5 litros de agua por cada litro de leche.
- La leche debe salir de la placa con 3-4°C más que la temperatura del agua utilizada. Si esto último no se cumple, es porque algo funciona mal (INTA, 2017). La temperatura de la leche disminuye de aproximadamente 37°C a 23°C, utilizando agua de pozo a 18°C (Nosetti, Herrero, et al., 2002).

Almacenamiento

Luego de ser ordeñada, la leche posee la temperatura corporal de la vaca, alrededor de 37°C, temperatura a la cual la multiplicación de bacterias se realiza con extrema facilidad, razón por la cual, para mantener su pureza, es indispensable enfriar al instante que se termina el ordeño. El crecimiento del recuento bacteriano en la leche almacenada depende de la carga inicial de bacterias, la temperatura de almacenamiento, la velocidad de enfriamiento, la temperatura final o de corte y el tiempo de conservación (SanCor, 2009). Con el fin de conservar la calidad de la leche, en un período no mayor de 2 hs luego de finalizado el ordeño, la leche debe ser enfriada a 4/5°C y almacenada en un tanque o cisterna de acero inoxidable de calidad sanitaria y aislación térmica (IRAM, 1989). Al agregar la leche del ordeño siguiente, la temperatura de la mezcla de leche no debe superar los 10°C. A su vez, el tiempo de conservación en el tambo no debe superar las 24 hs, salvo casos excepcionales, como los temporales. Las necesidades que tienen en cuenta son:

- Velocidad de enfriamiento: Para alcanzar los 4°C en un tiempo máximo de 2 horas después del ordeño, es necesario disponer de una potencia frigorífica acorde al volumen de leche a enfriar y a la temperatura a la que entra la leche al equipo.
- Leche con refrescado a placas: se necesitan aproximadamente 0,0015 HP por cada litro de leche por día, (Ej. un tambo de 2.000 l/día necesita 3 HP)

- Leche sin refrescado a placas: se necesitan 0,0025 HP por cada litro de leche por día, (Ej. un tambo de 2.000 l/día necesita 5 HP).
- Capacidad de almacenamiento: se tiene en cuenta mínimo dos ordeños, más el volumen de uno o dos ordeños más, si el tambo está alejado de caminos firmes (para los días de temporales).
- Aislación térmica: La pérdida de temperatura entre ordeños no debería superar los 2°C.
- Homogeneización: los tanques de leche suelen poseer un agitador que permite la homogeneización de la leche almacenada, con temporizador. El agitado excesivo (mayor velocidad de giro) provoca la ruptura de los glóbulos grasos y la consecuente lipólisis. La falta de agitación ocasiona el congelamiento de la leche en la zona de contacto con el evaporador, imposibilitando la transferencia de frío a toda la leche.
- Uso de placas de refrescado: se considera la relación ya mencionada de 3 litros de agua aproximados por cada litro de leche. En términos generales, se necesita un caudal de 3.500 a 7.500 litros de agua/hora. (SanCor, 2009).

1.1.3. Higiene

Inmediatamente luego de finalizado el ordeño, se debe producir una higienización del equipo de ordeño y almacenaje. Las unidades formadoras de colonia (UFC) es el principal parámetro para clasificar la leche según su calidad higiénica. Ésta mide la calidad bacteriológica de la leche, es decir, el contenido de gérmenes responsables de su descomposición. La leche de buena calidad debería contener menos de 10.000 UFC/ml (Uribe T et al., 2011).

Esta etapa es fundamental para mantener la calidad de la leche luego del proceso y controlar el contenido de bacterias en la misma. Se exigen una serie de pasos, los cuales, en líneas generales, tanto para la máquina de ordeño como para el tanque de frío son:

- Enjuague inicial con agua a 30-40°C. Se elimina la mayor cantidad posible de restos de leche y suciedad. Según las características del equipo de ordeño son las cantidades adecuadas de agua a utilizar. El agua de enjuague no debe recircular, debe ingresar y ser descartada hasta que la misma salga limpia.
- Lavado con detergentes ácidos y alcalinos. Se arrastra y elimina la suciedad (restos de leche y grasas), y remueve las incrustaciones de proteínas y sales.
Los lavados con detergentes alcalinos se realizan todos los días a una temperatura de 75°C y la cantidad de detergente varía de acuerdo a la cantidad de agua y a la dosis establecida por el fabricante del mismo. La duración de este lavado dependerá del tiempo en que la temperatura baje de 75°C a 49°C. Aproximadamente la solución recircula durante 8-10 minutos.
Los lavados con detergentes ácidos se realizan 2 o 3 veces por semana, si la dureza del agua es alta o una vez por semana en aguas blandas, a una temperatura de 30-40°C y la dosis utilizada también depende de fabricante del mismo y de la cantidad de agua. Aproximadamente la solución recircula durante 8-10 minutos.
- Enjuague final con agua a 30-40°C. Elimina todo vestigio de materiales de limpieza y partículas disueltas que puedan adherirse al equipo. Esta agua tampoco debe recircular.
- Desinfección si es necesario.

Con respecto a las instalaciones restantes de un tambo, las mismas también deben contar con un programa diario de higiene. En el programa de higiene se suelen efectuar algunas de las siguientes actividades propuestas por Martínez et al. (2011):

Sala de ordeño

- Se recoge y desecha basura y residuos de productos, se elimina polvo o cualquier otro material presente en el lugar que se va a limpiar.
- Se humedece con suficiente agua potable el lugar o superficie que se va a limpiar. Siempre comienzan en las zonas altas y terminan en las bajas.
- Se prepara la solución de detergente que se va a utilizar.
- Se esparce la solución de detergente en las superficies a limpiar.
- Se talla fuertemente la superficie con escobas o cepillos para eliminar toda la suciedad posible.
- Se deja que la solución detergente esté en contacto con la superficie a limpiar durante 3-5 minutos.
- Se enjuaga con agua potable a presión para eliminar completamente el detergente.
- Después del enjuague verifican que haya sido eliminada toda la suciedad. En caso necesario vuelven a lavar las superficies con jabón hasta que queden completamente limpias.
- Se prepara la solución desinfectante 20 minutos antes de iniciar la desinfección.
- Se aplica la solución desinfectante sobre el lugar o superficie que se va a desinfectar y se deja en contacto por un tiempo mínimo de 10 minutos; en caso de utilizar cloro no se enjuaga. Durante este tiempo se elimina la mayor cantidad de microorganismos presentes en el área.

Corral de espera

- Se deben utilizar manguera a presión, palas y/o barredores.

En utensilios

- Se inicia la limpieza de los utensilios inmediatamente después de que se hayan dejado de utilizar; ya que luego es probable que se depositen los residuos y se dificulte la limpieza.
- Se enjuaga con agua a temperatura de 35 a 40 °C, restregando con un cepillo de cerdas suaves si el material es de acero inoxidable, o con esponja si el material es de plástico.
- Se aplica una solución detergente a temperatura de 35 a 40 °C, restregando con cepillo o esponja para eliminar la suciedad de las superficies a limpiar.
- Se enjuaga con suficiente agua para eliminar la solución detergente y la suciedad.
- Se deja secar y se protege los utensilios de posibles contaminaciones antes de volver a ser utilizados.
- Se desinfecta los utensilios antes de usarlos con soluciones como el hipoclorito de sodio a una concentración de 100 ppm.
- Se suele enjuaga con agua potable.

1.2. Efluentes y residuos generados durante el proceso productivo

En las instalaciones de ordeño se generan distintos tipos de residuos con características distintivas entre ellos (M Taverna, Charlón, García, & Walter, 2007). Generalmente, se utiliza la palabra “efluente” para referirse a una combinación de líquidos con gases y desechos sólidos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua, o que se incorporan a estas por el escurrimiento superficial causado por las lluvias, pero no todo lo que se origina en la instalación, encuadra dentro de esta definición.

Para integrar tanto los efluentes como los desechos sólidos generados se utiliza la palabra residuo y tomando como base una investigación realizada por M Taverna et al. (2007) se agrupan los mismos según sus características y el sector de la instalación de ordeño donde fueron generados (figura 2). A esta agrupación es necesario sumarle el aporte realizado por el agua de lluvia, si es que no hay ninguna obra que desvíe las mismas hacia otro sector. En la figura 3 se presenta a modo sintético el diagrama de flujo típico de la actividad tambera, en el que se evidencia cada residuo y efluente generado.

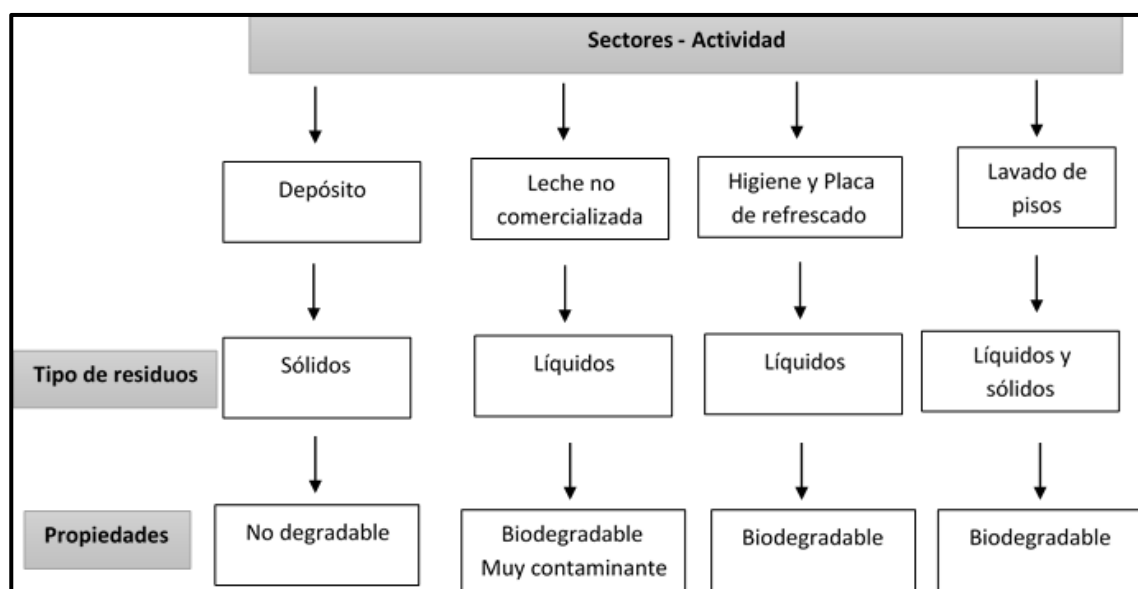


Figura 2. Clasificación de los residuos sólidos y líquidos generados en las instalaciones de ordeño.

Fuente: Adaptado de Taverna (2007)

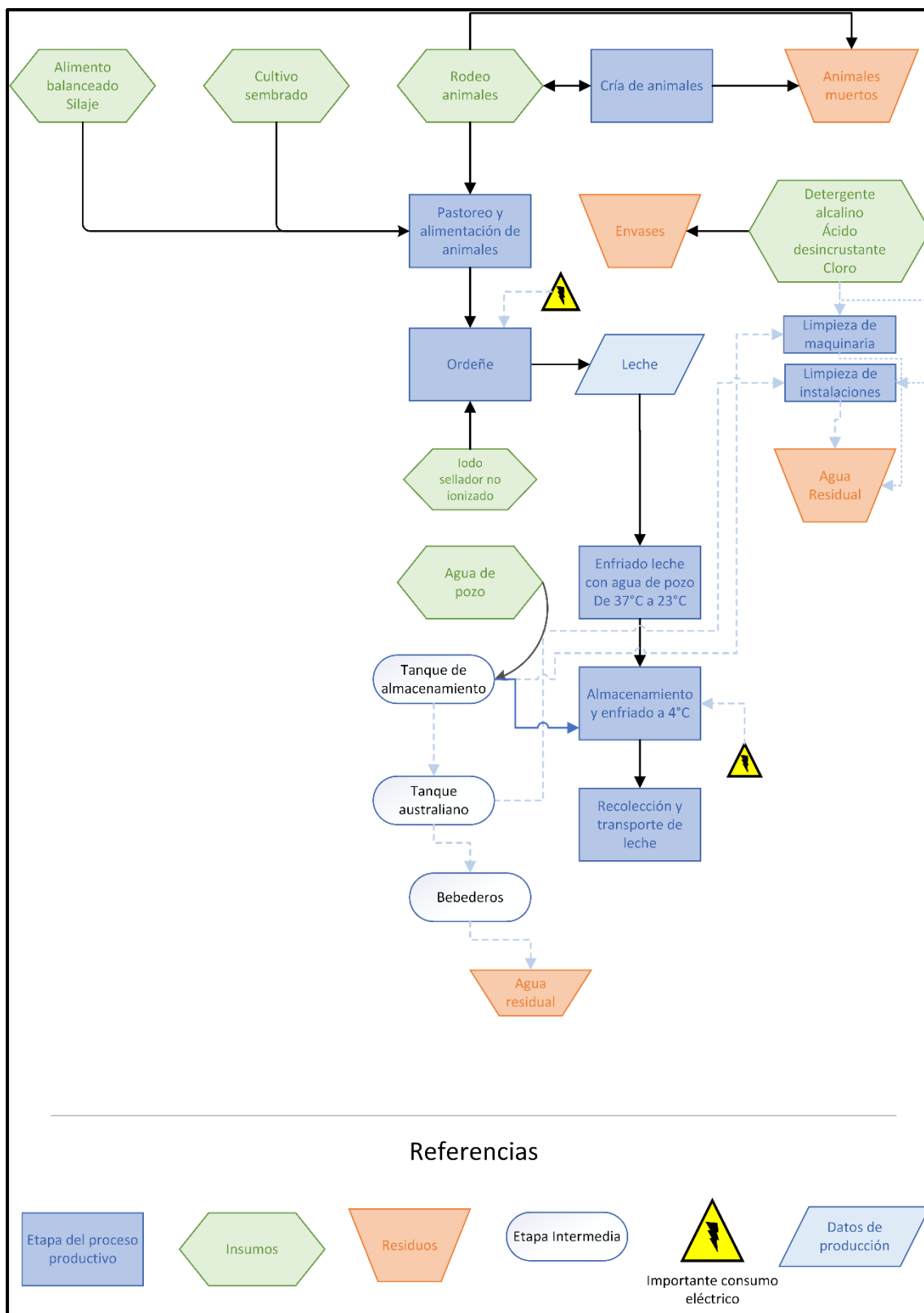


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso productivo.
 Fuente: Adaptado de Cisneros Basualdo (2015)

1.2.1. Efluentes líquidos

El volumen diario de efluentes generado por una vaca en ordeño presenta variaciones de acuerdo al autor y a cada tambo estudiado. Por ejemplo, Taverna (2006) informó un volumen generado entre 14 y 24 litros sin considerar el agua utilizada por la placa de refrescado y el agua de lluvia y plantea también que aproximadamente 350 gramos de materia seca están contenidos en ellos. Mientras que García (2015) informa 78 litros generados si en dicho sistema no se lleva a cabo ningún tipo de reutilización y tratamiento. Se considera para este trabajo una generación promedio de 50 litros/VO/día, equivalente a 1,6 litros de efluentes por litro de leche producida (Diez, 2012) y 4 litros de efluentes por cada litro de leche producida según Vasallo et al. (2008) en Uruguay.

El componente mayoritario del efluente es líquido (90% aproximadamente); contiene orina, agua del lavado del tambo, aguas pluviales, restos de leche, detergentes y otros productos utilizados y un componente minoritario que es sólido las excretas, el cual presenta un alto contenido de materia orgánica y nutrientes. En líneas generales, como se muestra en la tabla 1, el efluente está compuesto por agua muy dura, con un elevado valor de conductividad y contenido de sales (Verónica Charlón, Taverna, Walter, & Manzi, 2004), nutrientes (nitrógeno y fósforo), alto contenido de materia orgánica, de sólidos (suspendidos y sedimentables) y microorganismos que pueden afectar las propiedades del cuerpo receptor que recibe la descarga. Según Willers et al. (1999), este efluente es producido en mayor medida (>95%) durante la limpieza de los equipos, sala y corrales de ordeño. Otras fuentes de generación de efluentes provienen de la limpieza de maquinarias agrícolas, filtración de ensilaje, almacenamiento de estiércol y agua de lluvia proveniente de los techos.

El volumen y composición del efluente no sólo dependen de la gestión que se les proporcione, sino que también se asocia a las condiciones climáticas, la provisión de agua disponible y de los sistemas de manejo de estiércol. Estos factores producen variaciones en la composición del efluente.

Tabla 1. Composición química promedio del efluente crudo de tambo (K. E. García, 2015)

Efluente Líquido	MS (Materia Seca)	MO (Materia Orgánica)	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)
	1,4%	0,7%	0,41 kg/m ³	0,08 kg/m ³

Tomando como base la agrupación por sectores realizada por M Taverna et al. (2007) los efluentes líquidos son generados en:

Sector de leche no comercializada

Este residuo está compuesto esencialmente por las siguientes fracciones:

- Calostro (leche producida en los primeros días de la lactancia): su composición imposibilita su comercialización como leche.
- Leche proveniente de animales tratados: comprende a la leche producida por vacas tratadas, con medicamentos u otras sustancias químicas, que inhiben su comercialización.
- Leche del despunte: la importancia de esta fracción es casi nula, debido a que el volumen diario que queda en la instalación es muy bajo. El mayor porcentaje de la leche no comercializada lo conforman el calostro y la leche con residuos. Estos volúmenes pueden

variar durante el año, dependiendo de la cantidad de animales enfermos y de la época de parición.

Sector higiene y placa de refrescado

Se agrupa en dos fracciones con características y tratamiento diferentes:

- Agua de higiene de equipos: el residuo originado durante la higiene está conformado por restos de leche, y los volúmenes de aguas provenientes del enjuague inicial y final del equipo de ordeño y de refrigeración, a los cuales se les adicionan las soluciones de lavado alcalinas y ácidas. La limpieza de los equipos de ordeño y el tanque de almacenamiento genera efluentes que deben su composición a cada etapa de higiene a la que pertenezca. Los efluentes provenientes del enjuague inicial contienen los residuos de la leche que contribuye, en mayor medida, a la contaminación orgánica del efluente. El efluente que deriva del lavado principal contiene residuos de los agentes desinfectantes y de los agentes de limpieza tanto alcalinos como ácidos. Finalmente, el enjuague final produce agua en su mayor medida limpia (Willers et al., 1999).
- Agua de la placa de refrescado: mantiene las mismas características químicas que el agua de la perforación de la cual se extrae. Sólo la temperatura del agua a la salida de la placa es levemente superior a la de la perforación. Debido a esto, esta fracción debería ser 100% reutilizada.

Sector pisos

En este sector se generan la mayor parte de los efluentes. Si bien está constituido por una fracción sólida y otra mayoritariamente líquida, la caracterización se efectuó por separado. En el apartado 1.2.3. se explicita la fracción sólida, mientras que a continuación se profundiza la fracción líquida, dentro de la cual se consideran las siguientes fracciones:

- Agua de la limpieza de pisos de sala de ordeño y corrales
- Agua de lavado de los pezones
- Agua pluvial recolectada por la superficie cubierta y los pisos de cemento de los corrales

El volumen de agua más importante es el utilizado en la limpieza de los pisos, le siguen el agua de lluvia y por último, el usado en el lavado de pezones. Cuanto menor sea la cantidad de deyecciones en los pisos de material de corrales y sala de ordeño, menor sería la cantidad de agua para su limpieza y por consiguiente, el volumen final de efluentes para almacenar. Es importante considerar, si se utiliza menos agua, se generarán menos efluentes; en consecuencia, el sistema de almacenamiento y tratamiento será de menor tamaño y fácil manejo.

Caracterización físico-química y microbiológica del efluente

La caracterización de los efluentes resulta de suma importancia tanto para el diseño de una nueva instalación como en la ampliación de las existentes. También el monitoreo periódico de las descargas contribuye a la eficiencia del programa de gestión ambiental de cada empresa. Las mediciones necesarias se pueden lograr mediante el empleo de soluciones simples, hasta el uso de modernos equipos de muestreo y aforo, con toma de muestras compensadas en función del caudal, totalmente automatizados. Esto se complementa con los análisis físico-químicos necesarios que permiten realizar un inventario actualizado de las distintas descargas a depurar (Groppelli, 2001).

Si bien la cantidad y composición del efluente está definida principalmente por las características de la dieta y frecuencia e intensidad de las lluvias, los parámetros identificados en la tabla 2 y descritos a continuación son los que se determinan normalmente, debido a su comportamiento en las matrices suelo, tierra y agua, para la caracterización de efluentes de

tambo. Algunas descripciones fueron tomadas de Vasallo et al. (2008), ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A (2012) y Fernández & Curt, (2011).

- pH: se denomina pH al potencial de hidrógeno definido como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógenos. El rango utilizado es de 0 a 14 en disolución acuosa, indicando un agua alcalina o básica si el pH es mayor a 7 y un agua ácida si es menor a 7. El pH=7 indica la neutralidad de la solución. Este parámetro suele determinarse “in situ” con un pHmetro.
- Conductividad eléctrica: es una medida de la actividad iónica de una solución en términos de su capacidad para transmitir corriente eléctrica. Cuanto mayor sea la concentración de iones mayor será la conductividad. Es un factor que se mide “in situ” con un conductímetro. También debe tenerse en cuenta la temperatura de la muestra ya que la conductividad está estrechamente relacionada con la temperatura.
- Potasio (K): el ion potasio K^+ , corresponde a sales de muy alta solubilidad y que son difíciles de precipitar. Su determinación se hace por fotometría de llama. Se elimina por intercambio iónico y ósmosis inversa.
- Ion Amonio (NH_4^+): es un ion relativamente inmóvil en el suelo, dado que su carga positiva generalmente es atraída por las arcillas que están cargadas negativamente. El Nitrógeno amoniacal, que es el término utilizado para referirse tanto al ion amonio (NH_4^+) como al amoníaco (NH_3) puede convertirse a nitrito y luego a nitrato bajo condiciones aeróbicas. Los compuestos nitrogenados se nitrifican cuando existen condiciones aerobias, como al ser aplicados al suelo o en lagunas aeróbicas.
- Nitrógeno Kjeldahl (NKj): es definido como la suma de amonio libre y compuestos orgánicos nitrogenados. El Nitrógeno orgánico se presenta en el estiércol mayormente (60-80% del N total de la excreta). El Nitrógeno orgánico presente en las heces de la mayoría de los animales está bajo la forma de moléculas complejas, mientras que en la fracción líquida está fundamentalmente bajo la forma de urea. La suma del Nitrógeno Kjeldahl, nitrato y nitrito es lo que se denomina Nitrógeno Total. Como en las condiciones de la excreta o del efluente no existen las formas oxidadas de nitrógeno (nitrato y/o nitrito), el Nitrógeno Total en este caso coincide con el Nitrógeno Kjeldahl. Bajo condiciones aeróbicas los compuestos orgánicos nitrogenados y los amoniacales son degradados, convirtiéndose a nitrito y finalmente a nitrato (proceso de mineralización). El Nitrógeno orgánico proveniente de las excretas de los animales puede ser convertido en nitrito y bajo esta forma puede infiltrarse o ser arrastrado por las lluvias, contaminando aguas superficiales y profundas.
- Fósforo (P): es uno de los nutrientes principales para el crecimiento de las plantas, ya sean terrestres o acuáticas. Desempeña un papel esencial en los procesos de transferencia de energía, como el metabolismo, la fotosíntesis, la función nerviosa y la acción muscular. La determinación de fósforo total mide los compuestos contenidos en la fracción disuelta y los compuestos fosforados contenidos en la fracción sedimentable.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): es una medida cuantitativa de la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente la materia orgánica presente en el agua residual, utilizando como oxidantes el dicromato inorgánico o sales de permanganato a

una temperatura de 150°C en un ensayo de dos horas. Se suele utilizar sulfato de plata como catalizador y sulfato de mercurio para evitar las posibles interferencias de cloruro. Posteriormente se lleva a cabo la determinación por espectrofotometría.

- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): mide el oxígeno que es consumido por los microorganismos para degradar la materia orgánica. Este test se realiza en condiciones de temperatura constante (20°C), con exceso de nutrientes y el tiempo de incubación habitual es de 5 días (de ahí el subíndice 5 en el nombre).
- Relación DQO/DBO: permite demostrar el contenido de materia orgánica biodegradable presente en los efluentes. Los valores superiores a 2, indican la presencia de materia orgánica persistente proveniente del elevado contenido de fibras de compuestos celulósicos sin digerir, principalmente, lignina y hemicelulosa.
- Sólidos: el término contenido de sólidos totales (ST) de una muestra acuosa se aplica a la materia restante tras la evaporación de una muestra de efluente y su secado a una temperatura de 105 °C. Los sólidos totales incluyen a los sólidos suspendidos totales (SST), que son los que quedan retenidos al filtrar la muestra por un filtro de 2,0 µm, y a los sólidos disueltos, que son los que atraviesan el filtro. Los sólidos volátiles se determinan calcinando a 550 °C el residuo resultante del secado de la muestra sin filtrar a 105 °C. Mientras que los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) se realizan calcinando a 550 °C el residuo resultante de secar a 105 °C la fracción sólida obtenida luego de filtrar la muestra por un filtro de 2,0 µm. Los SSV es una determinación importante en el área de estudio de aguas residuales, indican la cantidad de materia orgánica presente en la muestra. Los Sólidos Fijos son la porción de Sólidos Totales que no son volatilizados a 550°C, por lo tanto, son la porción de sólidos que queda después de la calcinación. Representan el contenido inorgánico (sales minerales, arena, etc) del agua residual. El análisis de sólidos sedimentables (SSed) presentes en una muestra de agua indica la cantidad de sólidos que pueden sedimentarse a partir de un volumen dado de muestra en un tiempo determinado.
- Coliformes Fecales: Las bacterias Coliformes Fecales forman parte del total del grupo Coliformes. Son definidas como bacilos Gram negativos no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 44.5°C +/- 0.2°C dentro de las 24 +/- 2 horas. La mayor especie en el grupo de coliforme fecal es el *Escherichia coli*.
- Coliformes Totales: Se definen como bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares y otros agentes tensoactivos con propiedades similares de inhibición del crecimiento, no tienen citocromo oxidasa y son capaces de fermentar la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído, en un período de 24 a 48 horas. Se pueden encontrar tanto en las heces como en el medio ambiente y en el agua para consumo con concentraciones de nutrientes relativamente elevadas. La calidad microbiológica de los efluentes se suele evaluar mediante el recuento bacteriano total a través del método de Número Más Probable (NMP) descrito en ISO 6461 (ISO, 1986).

Tabla 2. Caracterización de los efluentes de la actividad tambera según distintos autores.

Parámetros	Efluentes por actividad (Willers 1999)			Efluente total (Nosetti 2002)	Efluente total (K. E. García, 2015)
	Lavado máquina	Lavado tanque de frío	Lavado sala de ordeño		
pH	2,6 – 11,8	9,5 – 10,5	3,0 – 4,5	6,9 – 9,13	-
Conductividad (mS/cm)	-	-	-	1,5 – 3,85	-
K (mg/l)	-	-	-	222,9 - 1379	-
NH ₄ ⁺ (mg/l)	-	-	-	30,3 - 225	-
NKj (mg/l)	14 – 110	7 – 36	122 – 268	76,3 – 429,8	Media: 410
P Total (mg/l)	11 – 320	26 – 110	31 – 54	6,8 – 51,9	Media: 80
DQO (mg/l)	625 – 4390	580 – 1330	2800 – 12000	Media: 5755,6	Media: 7500
DBO (mg/l)	-	-	-	Media: 974,5	Media: 3200
ST (mg/l)					Media: 11600
SSEDIM 10' (ml/l)	-	-	-	-	Media: 125,6
SSEDIM 2 hs (ml/l)	-	-	-	-	Media: 107,2
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	-	-	-	-	Media: 6,1x10 ⁶
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	-	-	-	-	Media: 8,4x10 ⁸

DQO= demanda química de oxígeno; DBO= demanda biológica de oxígeno; SSEDIM 10'= sólidos sedimentables en 10 minutos; SSEDIM 2 hs= sólidos sedimentables en 2 horas

De la tabla 2 se observa una serie de aspectos que deben destacarse debido a su característica contaminante. La característica distintiva y la complejidad específica de las descargas de la producción lechera se concentran en las cargas relativamente altas de fósforo y nitrógeno, así como también el alto contenido orgánico y la presencia de coliformes. La medida de coliformes es de hecho un indicador de la presencia de otras poblaciones bacterianas y virales. Con respecto al contenido orgánico, según U.S. EPA (1999) los efluentes provenientes de la actividad tambera poseen concentraciones promedio de DQO de 4997 mg/l, y 1003 mg/l de DBO₅. Las concentraciones de DQO varían en un rango de 2000-7000 mg/l dependiendo del manejo del efluente, el clima, las condiciones operativas y el tipo de lavado.

Conjuntamente al análisis necesario de la composición y volumen de los efluentes generados, es necesario analizar el consumo de agua para cada etapa de la actividad tambera. Existen estudios, como los realizados por Nosetti, Herrero, et al. (2002) que demuestran cómo un correcto manejo del agua durante el proceso productivo, mejora la calidad del efluente al obtener una mejor concentración de nutrientes, que luego podría ser utilizado como abono. Asimismo, se puede llegar a obtener como resultado una reducción del volumen de efluentes generados haciendo hincapié en la importancia del uso racional del agua.

El consumo de agua proviene de distintos usos como el doméstico, para bebida animal, para

limpiar los equipos del tambo y para limpieza en general. El consumo de agua de las vacas depende de la edad, peso, dieta y momento de lactancia. Para vacas mayores a 2 años de edad el consumo varía de 45 l/vaca.día para vacas no lactantes, mientras que para vacas lactantes es hasta 120 l/vaca.día (Willers et al., 1999). En la tabla 3 se expone los valores medios de consumo de agua discriminados por cada actividad del proceso productivo según Nosetti, Herrero, et al. (2002). Se puede observar que la operación que involucra la placa de refrescado es la que utiliza el mayor volumen, representando entre el 74,47% y el 91,29% del consumo total de agua dentro de las operaciones realizadas durante el ordeño. Los volúmenes empleados para el lavado de la maquinaria de ordeño, dependen del equipo que se dimensiona según el número de animales en ordeño. El lavado de la sala y corral de ordeño obedecen a la rutina de manejo y no a la suciedad en sí.

Tabla 3. Consumo de agua en establecimientos lecheros de Buenos Aires

Actividad	Consumo medio de agua
Refrescado (L agua/L leche)	7,31
Lavado Máquina (L/día)	308,33
Lavado Tanque de frío (L/día)	126,67
Lavado Sala (L/VO/día)	5,59
Lavado Corral (L/VO/día)	16,49
Lavado Pezones (L/VO/día)	1,16
Consumo total de agua (L/día)	32.144

L = Litro; VO = Vaca en Ordeño

Otro punto a considerar es la calidad del agua. No sólo para el consumo humano y animal sino también para el lavado de la maquinaria involucrada. Según M. Herrero et al. (2002) es de esperar una baja calidad en el producto final si el agua con el que se higieniza los equipos no está en buenas condiciones. Por ejemplo, la dureza, la contaminación microbiológica y los nitratos son factores importantes a considerar. Si el agua es muy dura, la eficiencia de limpieza en las ordeñadoras, por no incluir agentes ablandadores en proporciones adecuadas, disminuye notablemente. Algo similar ocurre con la contaminación microbiológica, que no sólo incide en la calidad de la leche, sino que también en la permanencia de focos de contaminación en partes de la máquina de ordeño. Si bien en nuestro país la normativa que regula la potabilidad del agua para la actividad tambera es muy escasa, es exigencia de la Unión Europea contar con agua potable para poder pertenecer a la categoría de tambo exportador. Esta condición es regulada por el Código Alimentario Argentino.

1.2.2. Efluentes gaseosos

Otro componente importante a caracterizar de los efluentes son los gases producidos por el ganado. La contaminación de aire proveniente de la actividad tambera tiene origen en diversas causas: gases con efecto invernadero, amoníaco, compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas aéreas e insectos y roedores que pueden actuar como vectores de enfermedades (María A. Herrero & Gil, 2008).

El amoníaco es un gas producido, principalmente por volatilización de nitrógeno de la urea contenida en la orina y, en menor medida, a partir del nitrógeno de las heces. En el aire, el

amoníaco reacciona con otros gases (sulfhídrico, nítrico), los que al depositarse por precipitaciones contribuyen a la acidificación de los suelos. La acumulación de las excretas, de alimento y de animales en espacios reducidos también libera otra serie de gases y vapores que despiden olores, en su mayoría desagradables. Se han identificado alrededor de 200 compuestos, muchos de ellos sulfurados y nitrogenados provenientes del metabolismo de las proteínas, compuestos fenólicos, ácidos orgánicos volátiles, alcoholes, cetonas y aldehídos. Los COV agrupan a una gran cantidad de sustancias químicas que se convierten fácilmente en vapores o gases. Contienen elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. En esta actividad se contribuye con etano, acetona, etc. a partir de estiércol (Morse, 1995). Las partículas que contaminan el aire pueden clasificarse según su tamaño en PM (“*particulate matter*”) 10 micrones y PM 2,5 micrones. Las PM 10 micrones están formadas principalmente por polvillo y las PM 2,5 micrones son sales que pueden provenir de la reacción del amoníaco con otros gases (Sweeten et al., 1998).

Algunos autores reconocen fuentes de producción directa de gases con efecto de invernadero, tales como la fermentación entérica, el estiércol y orina. Otros se deben a fuentes indirectas, ligadas a diferentes actividades relacionadas con el proceso de producción y utilización de insumos. Para este apartado se obtuvo información recabada y proporcionada por Finster, L. y Berra, G. (2007), publicada por M Taverna et al. (2007).

Fermentación entérica

El proceso de degradación de los alimentos, que se lleva a cabo en el rumen de los bovinos, en un ambiente carente de oxígeno y por acción de microorganismos específicos, genera metano como un subproducto. Cuando el forraje consumido está compuesto por un alto porcentaje de fibra, el ácido graso volátil que se forma es el acético. En estas condiciones, queda una cantidad de iones hidrógeno libres en el rumen, que es capturada por las bacterias metanogénicas y combinada con el dióxido de carbono, para dar origen al metano, gas que se elimina a través de la eructación. Si el alimento es rico en almidón, el principal producto de la fermentación es el ácido propiónico, con menor generación de metano. La producción de metano constituye una pérdida energética, que puede alcanzar valores del 2 al 12 % de la energía bruta del alimento.

Para las condiciones de producción de nuestro país, esta ineficiencia está en el orden del 5 al 7 %. Por ejemplo, una vaca lechera con un nivel de producción de 17 litros diarios (valor promedio para Argentina en el año 2000) emite 90 – 100 kilos de metano por año. Esta cifra corresponde al promedio ponderado de todas las vacas que conforman el rodeo productivo (vacas en lactancia, secas, vacías y preñadas).

Estiércol y orina

El estiércol y la orina de los bovinos emite metano y óxido nitroso. Cuando la materia orgánica del estiércol se somete a condiciones de anaerobiosis, tienden a formarse mayores cantidades de metano; cuando se expone a la presencia de oxígeno, predomina la generación de óxido nitroso.

Para el caso particular de la producción lechera, el porcentaje de las deyecciones diarias de las vacas que es excretado en el corral de espera y en la sala de ordeño. Es manejado en un medio líquido, anaeróbico, representa una fuente importante de metano. El estiércol y la orina que quedan depositados sobre las pasturas, aportan una cantidad de nitrógeno al suelo, a partir del cual se genera óxido nitroso, tanto en forma directa como indirecta, a través de la volatilización, el escurrimiento y la lixiviación.

Pasturas

Las pasturas de alfalfa pura o las consociadas de gramíneas y leguminosas, que constituyen la base forrajera de la producción de leche en la Argentina, son otra fuente de nitrógeno para la

emisión de óxido nitroso. Los medios para la incorporación de este elemento al suelo son la fijación biológica y el enterramiento de la biomasa remanente, al finalizar la vida útil de las pasturas.

Fuentes indirectas

Si bien las fuentes citadas anteriormente representan las fuentes directas de GEI, también deberían considerarse en la actividad lechera, las emisiones de dióxido de carbono generadas, principalmente, por el uso de energía para el funcionamiento de equipos de ordeño, enfriadores, bombas, tractores, iluminación, transporte, y para la obtención de insumos tales como granos, alimentos balanceados, productos veterinarios, agroquímicos y otros.

1.2.3. Desechos sólidos

A continuación, se agrupan los residuos generados por sectores dentro del tambo en su totalidad de acuerdo a M Taverna et al. (2007).

Sector depósito

Aquí se concentra todo el material usado o de reemplazo, que es necesario eliminar de las instalaciones de ordeño. Este residuo está conformado por materiales de goma (pezoneras, tubos de pulsado, mangueras, guantes, etc.), de plástico (bidones, envases de detergentes, jeringas, pomos de secado, baldes etc.), de vidrio (frascos de medicamentos, etc.), metales (agujas, reemplazo de partes del equipamiento) y bolsas de polietileno. Estos desechos, en su mayoría, son no biodegradables y es difícil cuantificarlos dado que la cantidad, durante el año, es muy variable dentro y entre establecimientos.

Dentro de la instalación de ordeño, se suele contar con varios recipientes con bolsa (tipo de consorcio) para disponer todo material de descarte. Los sectores más convenientes son la fosa de ordeño, la sala de leche, la manga de inseminación, y toda la zona donde se utilizan y desechan distintos materiales. Estos residuos se deben almacenar en condiciones que no presenten riesgos de polución. Cuando se completa la capacidad de la bolsa, se debe atar y retirar hasta un relleno sanitario municipal o una planta de clasificación de residuos, de la localidad más cercana. Además, estos no deben arrojarse a las lagunas de almacenamiento de efluentes, ni enterrarse en el predio del tambo. Tampoco deben ser quemados al aire libre, dado que su combustión libera gases muy nocivos.

Sector pisos

Se agrupa en dos fracciones con características y tratamiento diferentes. La fracción sólida en las instalaciones de ordeño, en los pisos de corral de espera y sala de ordeño, después de finalizado el ordeño, queda una importante cantidad de barro, arena, restos de alimentos y estiércol. La cantidad depende, principalmente, de la rutina de ordeño y del tiempo que pasan los animales en los corrales. Aproximadamente una vaca adulta genera 50 kg de materia fecal por día (V Charlón, 2013), de la cual un 25% corresponde a materia seca (MS) (tabla 4). De este porcentaje se desprenden, entre un 7-10% generados en las instalaciones de ordeño y, dependiendo de la cantidad de horas que permanecen las vacas en los corrales, un 10-17% si persisten durante 8 horas y un 30-40% si están durante 24 horas.

Tabla 4. Composición química promedio del efluente sólido de tambo. Adaptado de Grandis & Visintini (2015)

Efluente Sólido	Variables (%)			
	MS (Materia Seca)	MO (Materia Orgánica)	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)
	25	72	2,2	0,8

El nitrógeno se presenta en tres fracciones, inorgánico, orgánico fácilmente degradable y orgánico resistente a la degradación. Las dos primeras fracciones representan más del 50% del nitrógeno total. Hay diferentes pérdidas de acuerdo a la forma y tiempo con que se acumule y se aplique el estiércol, si es que se aplica. El fósforo se encuentra principalmente en el estiércol de la vaca y no tanto en la orina. Se presenta en dos fracciones, inorgánico y orgánico. El estiércol también está compuesto por potasio, en cual se encuentra en un 70% del total en la orina.

Otro aspecto importante es la cantidad de microorganismos que contiene el estiércol, y que tienen un papel importante en la actividad del suelo. El origen microorganismos es la vaca lechera. El rumiante, tiene un estómago en cuatro compartimientos con los que puede utilizar eficientemente la fibra celulósica a pesar de carecer de enzimas propias necesarias para digerir. Los ruminantes forman una sociedad simbiótica de microorganismos que ingieren con la comida, y el primer compartimiento o rumen, sería una especie de “vasija” de fermentación anaeróbica que se ve suplido por largas cantidades de saliva y alimento húmedo. Esto crea un ambiente con una temperatura constante de 39°C, un ambiente anaeróbico en el cual se desarrollan una cantidad de microorganismos capaces de degradar las fibras celulósicas (10 billones por ml de fluido ruminal) (La Manna, 1995).

A su vez, las excretas generadas se concentran en áreas reducidas y conforman la principal fuente de nutrientes, metales pesados, antibióticos y otras drogas veterinarias, además de los microorganismos patógenos (María A. Herrero & Gil, 2008). Alrededor de una tercera a una cuarta parte de la materia orgánica del estiércol consiste en microorganismos. Por lo tanto, la composición biológica del estiércol varía con la composición de la comida y la interacción que hacen los microorganismos en el sistema digestivo.

Capítulo II: Tratamientos de efluentes generados en tambos

En primera instancia, para lograr llevar a cabo una correcta gestión de los efluentes generados es necesario conocer en detalle la cantidad producida de los mismos, las dimensiones de las instalaciones, los recursos con los que se cuenta y el producto final que se desea alcanzar. La composición exacta del efluente es sumamente importante, pero de no ser posible la obtención de esta información, se pueden utilizar datos obtenidos de bibliografía disponible ya que, si bien cada tambo presenta características diferentes, todos siguen un patrón determinado con respecto a la generación de efluentes.

A grandes rasgos, lo que se pretende al plantear un sistema de tratamiento es reducir el contenido de materia orgánica, el DBO, DQO, el contenido de sólidos, nutrientes, agentes patógenos como la *Escherichia coli* y demás contaminantes que pueden llegar a generar los impactos negativos previamente mencionados. El objetivo de los tratamientos también es reducir la cantidad de efluentes generados y, en lo posible valorizar los mismos.

Existen una gran variedad de propuestas, por ese motivo es esencial primero explicar las bases de los tratamientos de aguas residuales. Metcalf & Eddy (1995) exponen la información tanto básica como avanzada necesaria para el tratamiento de cualquier efluente. Para lograr comprender la secuencia habitual de los mismos, se debe conocer los términos más utilizados que se explican a continuación.

Las operaciones unitarias son aquellos métodos de tratamientos en los que predominan los fenómenos físicos, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de contaminantes se realiza en base a procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios. En la actualidad, las operaciones y procesos unitarios se agrupan entre sí para constituir los así llamados tratamientos primarios, secundarios y terciarios (o tratamiento avanzado).

El tratamiento primario contempla el uso de operaciones físicas tales como la sedimentación y desbaste para la eliminación de los sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual. En algunas ocasiones se suele diferenciar un pretratamiento de los tratamientos primarios. Ambas tareas son operaciones físicas que buscan, por un lado los pretratamientos, eliminan los constituyentes de los efluentes cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares y por el otro, los tratamientos primarios, eliminan una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual.

Estas tareas suelen llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación. El pretratamiento puede ser realizado con desbaste, rejillas para la eliminación de sólidos gruesos (ej. telas, grandes plásticos, etc.), la flotación para la eliminación de grasas y aceites, el desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa (ya que puede causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo en los mismos) y tanques equalizadores que permiten la mezcla y homogeneización de las descargas durante el día (con el objetivo de preparar las aguas residuales para que puedan recibir el tratamiento siguiente).

En el tratamiento secundario se emplean procesos biológicos y químicos para eliminar la mayor parte de la materia orgánica y los sólidos en suspensión. Se define el tratamiento secundario convencional como la combinación de diferentes procesos normalmente empleados para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con fangos activados, reactores de lecho fijo, sistema de lagunaje y la sedimentación. En muchos casos, en combinación con el tratamiento secundario, se realiza una eliminación de nutrientes. Por ejemplo, se pueden añadir sales metálicas en los tanques de aireación para provocar la precipitación del fósforo en el proceso de decantación final, o se puede llevar a cabo un proceso de desnitrificación biológica como continuación de un proceso de fangos activados que produzca un efluente nitrificado.

En el tratamiento terciario se emplean combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias con el fin de eliminar otros componentes, tales como el fósforo y el nitrógeno, cuya reducción con tratamiento secundario no es significativa. Por lo tanto, se define el nivel de tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyentes de los efluentes que merecen especial atención, como los ya mencionados nutrientes, los compuestos tóxicos y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión. Algunos procesos u operaciones unitarias empleadas en este tipo de tratamiento son la coagulación química, floculación y sedimentación seguida de filtración y carbón activado. Para la eliminación de iones específicos y para la reducción de sólidos disueltos, se emplean métodos menos comunes, como el intercambio iónico o la ósmosis inversa.

El tratamiento más frecuente de los efluentes provenientes de la limpieza de las instalaciones de los tambos se realiza a través de lagunas de estabilización. En los países que poseen reglamentaciones que prohíben verter efluentes a cuerpos de agua, se utiliza como fertilizante. En países que no existe una reglamentación clara al respecto es frecuente el vertido a cursos de agua en forma directa o indirecta (María A. Herrero & Gil, 2008).

El tratamiento de residuos se puede realizar bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas. Cuando se realiza en condiciones aeróbicas y se separan los sólidos de la fase líquida, el estiércol resultante puede ser estacionado en pilas o compostado, lo cual permite aumentar la proporción de materia seca y la disponibilidad de nutrientes, y remover organismos patógenos (Sweeten et al., 1998). Los líquidos podrán ser sometidos al tratamiento en lagunas de estabilización, donde el oxígeno que oxida la materia orgánica puede ser cuantificado por la DBO_5 y por la DQO.

Si el tratamiento resulta exitoso, estos líquidos podrán utilizarse para su aplicación en cultivos y pasturas o ser vertidos a cuerpos de agua, si bien en este tipo de tratamiento en lagunas existe pérdida de N por volatilización. En el caso que aún fuese necesaria su depuración, se debería continuar con un tratamiento terciario como filtros biológicos.

Cuando se realiza tratamiento anaeróbico, se produce una fermentación que genera biogás (metano) que puede utilizarse. Además, disminuyen la DBO_5 (remoción 60 a 90%), la DQO, los nutrientes (remoción de N entre 62 y 72% y de P entre 50 y 75%), los patógenos y el volumen (María A. Herrero & Gil, 2008).

El método de reuso de efluentes más utilizado a nivel mundial, y en particular en los tambos, es el riego. Si bien requiere un control de la calidad del agua, así como un monitoreo del suelo destinado para dicho fin (control de cargas de aplicación, etc), esta forma de reuso presenta una solución interesante para las pasturas, comportándose como enriquecedor de nutrientes para el suelo. Además, presenta la ventaja de no exigir adicionalmente al sistema de tratamiento como lo hace la recirculación. El diseño del sistema de riego debe tener en consideración el tipo de cultivo, la ubicación de los puntos a abastecer, así como la necesidad de modificar continuamente el punto de riego, de modo de no aplicar cargas en demasía a los suelos o los cuerpos de agua (DINAMA, Conaprole, & Imfia, 2008).

2.1. Tratamientos existentes

La propuesta de tratamiento planteada por Correa (2014) consta de una serie de etapas que fácilmente podrían ser reproducidas en cualquier instalación tampera. Debido a la similitud que presenta con la mayoría de las propuestas planteadas por otros autores, se utilizará para presentar y sintetizar los pasos que conforman cada una de las etapas del tratamiento.

2.1.1. Tratamiento primario

Como se explica en la introducción de este capítulo, en esta instancia se desea remover son los sólidos presentes en el efluente. Para eso, se puede diferenciar cada etapa del tratamiento primario según la operación física predominante.

- Reja gruesa (figura 4): su principal función es retener sólidos groseros tales como jeringas, guantes, restos de hilo de fardo, plásticos, acumulaciones secas de estiércol, etc. Están fabricada con planchuelas que suelen estar separadas entre 1 y 2 cm.

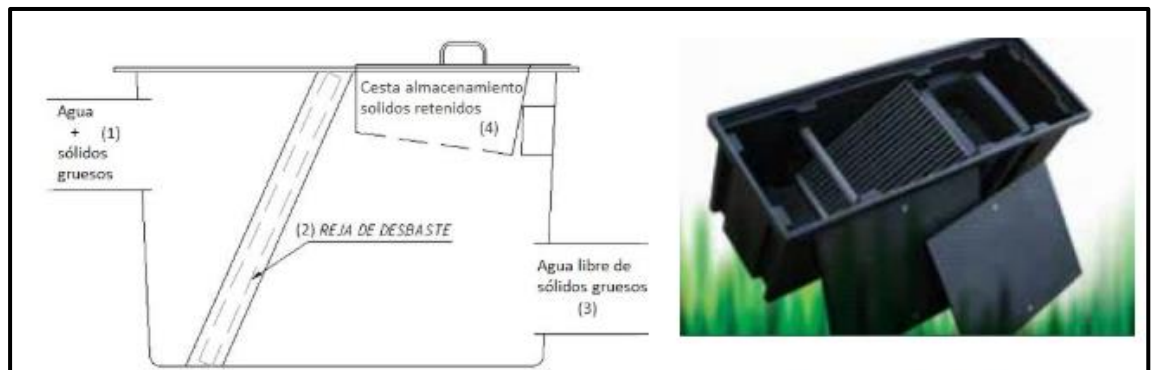


Figura 4. Diagrama e imagen de una arqueta o depósito de desbaste clásicos

Fuente: GEDAR, S.L

El efluente que ingresa al depósito (1) reduce su velocidad debido a la mayor sección de paso de este equipo frente al conducto de entrada. El agua cargada de sólidos atraviesa la reja de desbaste (2). Los sólidos de tamaño superior a la luz de paso de la reja son retenidos por ésta, y el agua libre de sólidos abandona el equipo (3). Los sólidos capturados por la reja disminuyen la sección de paso total de la misma produciendo un incremento del nivel del agua previo a la reja, motivo por el cual estos deben de ser retirados periódicamente. Algunos depósitos de desbaste incluyen un compartimento para el almacenamiento de dichos sólidos (4).

- Desarenador: tiene como objetivo retener tierra y arena que se genera en el efluente, minimizando la acumulación de los mismos en las etapas posteriores del tratamiento. En esta unidad sólo se retienen los materiales más pesados, no se pretende separar estiércol. Esta estructura evita que se tapen las tuberías y canales cerrados aguas abajo del tambo. La forma planteada en la figura 5 consta de una sección trapezoidal con accesos laterales. Es un diseño robusto, estable y conveniente debido a que permite que pueda ser limpiada mecánicamente usando la pala de un tractor. Es por eso que el ancho debe permitir el pasaje de la pala (delantera o trasera) de este equipo (no menos de 2 metros). A su vez existen varios diseños distintos en formas y tamaño, que dependen del espacio que se disponga, frecuencia y modo de limpieza, y de la maquinaria disponible para su limpieza. Otro tipo de cámaras de limpieza manual son directamente cámaras o recintos prismáticos rectangulares donde la captación se realiza desde la zona superior (a través de la reja ya mencionada). De todas formas, los desarenadores, en general,

deben tener una altura útil o “sobre fondo” donde quedan retenidos una mezcla de arena, pedregullo y tierra.

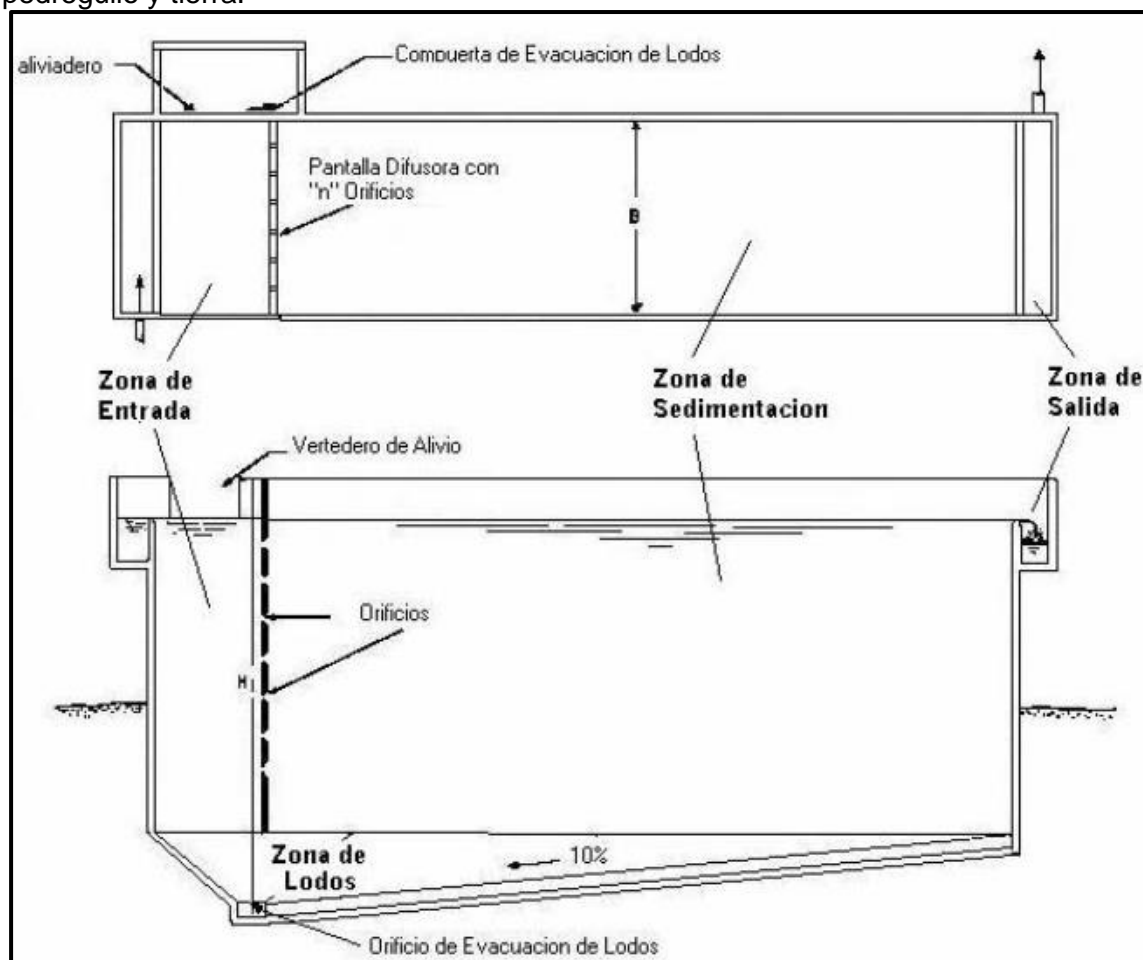


Figura 5. Desarenador (Planta y Corte Longitudinal)

Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005)

- Separación sólido-líquido: su principal función es evitar el ingreso a las lagunas de sólidos (bosta y la fracción de arena y tierra que pasó del desarenador), ya que en ese caso deben ser posteriormente retirados del fondo de las lagunas, aumentando significativamente los costos de mantenimiento y disminuyendo los períodos entre limpiezas del sistema de almacenamiento. Esta estructura puede ser efectuada a través de diferentes métodos, difiriendo en el porcentaje del sólido separado, la humedad del sólido separado, los costos de implementación y las horas hombre en la operativa diaria. Los dos grandes grupos de sistemas de separación son aquellos en los que la fase sólida y líquida se separa por gravedad y aquellos en que se separa por filtrado. En cualquier caso, el lixiviado o sobrenadante del sólido debe ser colectado y enviado al sistema de almacenamiento. En la tabla 5 se muestran ventajas y desventajas de estos dos sistemas de separación, a través de un cuadro comparativo. Por un lado, entonces, la separación por gravedad consiste en una separación por diferencia de densidad entre los sólidos y el agua. Es un método que se aplica con buenos resultados en establecimientos con número de animales pequeño a medio. Agrupa distintas estructuras como los estercoleros (figura 6), trampas y lagunas de sedimentación.

Los estercoleros consisten en un recinto donde la retención de estiércol es en la parte inferior, mientras que el líquido restante escurre a través de las paredes, que pueden ser de ladrillo rejilla, madera perforada u otro material. El estercolero usualmente se limpia mediante tractor con pala y sus dimensiones se determinan con el objetivo de realizar esta tarea. Las trampas, por otra parte, presentan un funcionamiento similar al del estercolero. Se trata de un dispositivo en rampa, donde la sedimentación de la bosta se da en la parte más profunda situada al final de la unidad. Los sólidos son retenidos por una rejilla y los líquidos sobrenadantes son conducidos desde allí hacia la unidad de almacenamiento/tratamiento. Por último, las lagunas de sedimentación si bien no requieren una limpieza con frecuencia alta, la cantidad de material a gestionar y disponer al momento de realizarla es importante, debiendo realizarse esta tarea con equipos especiales que generan altos costos puntuales para el productor.

El dimensionamiento de la unidad debe realizarse teniendo en cuenta la carga de sólidos a separar en el efluente y el período de tiempo entre limpiezas. Debido a que las limpiezas es conveniente realizarlas durante el verano, habitualmente el tiempo mínimo para este diseño es de un año.

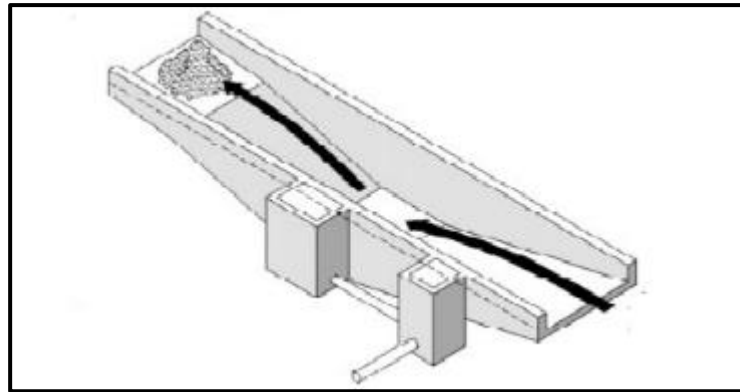


Figura 6. Estercolero doble

Fuente: Correa (2014)

Por otro lado, la separación por filtrado es la técnica más eficiente ya que se basa en la diferencia de tamaño entre los sólidos y el agua. Otro factor adicional es la necesidad de un pozo de bombeo que asegure una alimentación adecuada de caudal y carga al sistema de separación, con el fin de evitar los pulsos generados por la actividad tampera. La separación por filtrado puede ser empleada a través de distintos instrumentos como tamices estáticos y rotativos (figura 7), prensas extrusoras o cualquier otro artefacto siempre y cuando el material con el que está hecho sirva para filtrar. Los tamices estáticos separan los sólidos con una eficiencia en segregación del 98%. La humedad de salida del sólido es del orden del 92 al 95%. Debido a la humedad del sólido el manejo posterior implica el uso de más recursos humanos que otras opciones. A su vez, es posible complementar la acción de un filtro de este tipo con una zorra, forrada con malla sombra o mosquitero, para completar la deshidratación del sólido. Los tamices rotatorios comparten eficiencias similares con los tamices estáticos con respecto a la eficiencia de separación de los sólidos, al igual que la demanda de complementar con una zorra para la deshidratación, por más que la humedad de salida sea un poco inferior (del orden del 90%). Las prensas extrusoras generan una separación de sólidos con una eficiencia mayor al 98% y el sólido extruido tiene un menor contenido de humedad que el de los sistemas anteriores.



Figura 7. Tamiz estático (izquierda) y tamiz rotatorio (derecha)
Fuente: Correa (2014)

Tabla 5. Comparación de los distintos sistemas de separación

Sistema	Eficiencia separación	Horas hombre	Humedad del sólido	Costos de implementación y mantenimiento	Consumo de energía eléctrica	Uso de bombas
Decantación natural	Media	Alta	Alta (96 al 98%)	Bajo	Nulo	No
Filtro tamiz estático	Alta	Media a baja	Media (92 al 95%)	Intermedio	Intermedio	Si
Filtro tamiz rotatorio	Alta	Media a baja	Baja (90 al 92%)	Intermedio	Intermedio	Si
Filtro por extrusora	Alta	Baja	Muy baja (70 al 72%)	Alto	Alto	Si

2.1.2. Tratamiento secundario

Una alternativa observada son los sistemas de lagunas que le proporciona un tratamiento biológico al agua residual que, en este caso, proviene del sistema de separación. El objetivo es mejorar la calidad del líquido, para su disposición final o su reutilización. Existen, en las aplicaciones referidas a establecimientos de producción lechera, dos tipos de lagunas que forman parte del sistema de tratamiento:

Lagunas anaeróbicas: se trata de lagunas de poca superficie, con el objetivo de minimizar el intercambio de oxígeno con el aire, y una importante profundidad (mayor a 3 metros) en las cuales se apunta al desarrollo de un metabolismo en ausencia de aire, es decir, en estas unidades la degradación de la materia orgánica ocurre en ausencia de oxígeno disuelto. Una vez que los sólidos se sedimentan en el fondo de la laguna son sometidos a un proceso de

descomposición anaeróbica por la acción de bacterias. El efluente es primero digerido por un grupo de bacterias que produce ácidos (fase acidogénica) y luego por otro grupo de bacterias que produce gas metano, dióxido de carbono y otros productos (fase metanogénicas). Es un proceso continuo que ocurre simultáneamente. Debido a esta acumulación de sedimentos es necesario limpiar las lagunas cada cierto tiempo (generalmente 3 a 5 años) (Peralta Escobar, Yungan Yunga, Ramirez Alcivar, & Vicente, 1999). Debido a que operan bien con alta carga, la primera laguna del sistema de tratamiento debe ser siempre de este tipo. Se diseñan sobre la base de un parámetro definido como la carga de materia orgánica por unidad de volumen de laguna.

Lagunas facultativas: se trata de lagunas que tienen una importante superficie y baja profundidad (no mayor a 1,5 metros) en las cuales se apunta al desarrollo de un metabolismo en presencia del aire que se intercambia con el ambiente. En este tipo de unidades los procesos anaerobios se dan en el fondo, en tanto la masa de agua se mantiene mayoritariamente en condiciones aerobias. En efecto, una capa superficial de profundidad variable según la penetración de la luz solar en las aguas de la laguna mantiene condiciones de oxigenación durante el día debido a la actividad fotosintética de las algas, además de la difusión del oxígeno del aire. Por este motivo, las lagunas de este tipo poseen una superficie expuesta alta y una baja profundidad. A efectos que no se generen olores ni vectores, es importante que el agua llegue a ellas con baja carga, con el objetivo de usarlas para darle el “toque fino” al tratamiento en estas unidades. Se diseñan sobre la base de un parámetro definido como la carga de materia orgánica por unidad de superficie de la laguna. Y a su vez, en caso de ser usada como laguna final, deben contar con una capacidad de almacenamiento de efluente por encima de su nivel normal de operación, de no menos de 15 a 30 días, debido a que no podrá realizarse la infiltración del efluente en los días de lluvia y en los que el terreno se encuentra a capacidad de campo.

Las lagunas facultativas permiten, a priori, la remoción de patógenos y nutrientes. Los mecanismos principales para la remoción de patógenos incluyen el tiempo y la temperatura de estadía en las lagunas en condiciones de pH elevadas y en presencia de luz solar. La remoción de nitrógeno en estos sistemas, ocurre fundamentalmente por la formación de amonio y volatilización de este como amoniaco y por la formación de biomasa. Hay que considerar que esta biomasa formada, aumentará la concentración de sólidos suspendidos volátiles del sistema y si bien los compuestos nitrogenados estarán en una forma más biodegradable que los compuestos de partida, hay una 20% al menos de la biomasa algal que no es biodegradable, la que al morir sedimentara en el fondo de la laguna. La remoción de fósforo en estos sistemas ocurre por sedimentación de P orgánico en la biomasa de algas muertas y del fósforo inorgánico por la formación de compuestos de baja solubilidad (Gutierrez & Cabrera, 2004).

Estos dos tipos de lagunas habitualmente son dispuestas en conjunto, para el caso de efluentes de tambo el sistema suele estar compuesto por dos lagunas anaeróbicas seguidas por una laguna facultativa final. En el caso de establecimientos pequeños, pueden ser necesarias sólo dos lagunas, una anaeróbica y otra facultativa.

En todos los casos las lagunas deben estar impermeabilizadas para lograr que la conductividad hidráulica sea menor a $1e-7$ cm/s (Correa, Rezzano, & García, 2016). Para esto podrán considerarse los siguientes procedimientos: compactación con arcilla (espesor 30 cm), instalación de geomembrana de PEAD (polietileno de alta densidad) o losa de hormigón. Para que esto sea posible también es importante que las unidades sean diseñadas con taludes en

relación horizontal:vertical no menor a 2,5 de manera tal de permitir el uso de equipos de apisonamiento como los mostrados en la figura 8.



Figura 8. Construcción de laguna
Fuente: Correa et al. (2016)

Con respecto al dimensionamiento de las unidades se debe tener en cuenta no solo el caudal diario del efluente, sino que también el tiempo de permanencia del mismo, el pluviométrico aportado en las instalaciones y contar con cañerías de entrada y salida capaces de evacuar los picos de caudal que se generan en lluvias importantes. Es por eso que el volumen de almacenamiento se diseña en función de un balance hídrico, considerando la época de aplicación o vaciado a los efectos de prever el período de almacenamiento y de vertido.

En caso que las unidades mencionadas no sean suficientes para disminuir la concentración de nutrientes del efluente, existen otras alternativas que corresponden a procesos químicos unitarios tales como la precipitación química y la nitrificación desnitrificación. Para disminuir la concentración de fósforo en el efluente, puede precipitarse mediante el agregado de productos químicos, habitualmente sulfato de aluminio, que generan la coagulación del fósforo inorgánico presente en el efluente. Este proceso tiene un costo operativo significativo y da lugar a la generación de lodos que deben gestionarse de manera adecuada para su disposición final.

Para disminuir la concentración de nitrógeno en el efluente pueden ponerse en marcha unidades de tratamiento que disminuyen su concentración a través de un proceso llamado nitrificación desnitrificación. Las unidades intensivas de tratamiento necesarias para llevar adelante este proceso implican una alta inversión inicial debido a la infraestructura asociada (sistema de aireación, reactores biológicos, sedimentador de lodos, planta de tratamiento de lodos) y un significativo costo operativo debido al consumo de energía eléctrica del sistema de tratamiento y las tareas asociadas a su gestión.

2.2. Destinos alternativos para el efluente tratado

Si bien un tratamiento básico podría culminar en la última fase descrita (tratamiento secundario), existen otras alternativas para obtener un efluente de mejor calidad y aprovecharlo para otros usos. Sumado a la posibilidad de aprovechar y valorizar el efluente, se presenta la necesidad de conocer su destino final para plantear el tratamiento capaz de alcanzar los

requerimientos necesarios según su función. Los límites exigidos por la normativa para vuelco a un cuerpo de agua superficial no son los mismos que para absorción directa en el suelo. A continuación, se describen algunas de estas alternativas.

2.2.1. Reutilización para fertilización

El nitrógeno y fósforo excedente generado vía heces y orina presenta un potencial significativo para ser considerado como un fertilizante orgánico. La relación entre requerimientos nutricionales y el aporte de nutrientes dietarios según estrategias de alimentación en vacas en ordeño puede originar distintas magnitudes de excedentes de nutrientes vía heces y orina (Burón Alfano et al., 2010). Estos nutrientes, de no ser aprovechados para su reutilización, derivan en pérdidas hacia al ambiente. Según Missaoui, Allen, Green, & Brown (2002), en el ganado lechero, entre el 70% y el 85% del nitrógeno consumido retorna al exterior vía urinaria y fecal, para el caso del fósforo lo hace, entre el 65% y 75%.

El balance de nutrientes (ingresos - egresos) entra en juego al momento de estimar el nitrógeno y fósforo excedente para una posterior reutilización. A través de un estudio realizado por Burón Alfano et al. (2010) se obtuvo información valiosa para elaborar un correcto análisis de la calidad del efluente para ser reutilizado como fertilizante orgánico.

Los resultados obtenidos en el mencionado artículo exponen que, con el nitrógeno recuperado de las excretas alcanza para reemplazar el uso de fertilizantes comerciales en un 25% en tambos de 185 VO con productividad aproximada de 28 L/VO/día y en un 90% en tambos de 73 VO con productividad aproximada de 25 L/VO/día, teniendo en cuenta que durante el almacenamiento y distribución de las excretas en el tambo se puede perder por desnitrificación hasta un 50% del nitrógeno. Para el caso del fósforo, al no producirse estas pérdidas, se consideró el total de fósforo recolectado, pudiendo reemplazarse un 16% en el tambo de 185 VO y un 20% en el tambo de 73 VO del aplicado como fertilizante. Y finalmente, con respecto a la composición de los alimentos de la vaca, se deja en evidencia que el mayor aporte de fósforo y especialmente nitrógeno correspondió al forraje.

Con respecto a la aplicación de estos nutrientes recuperados para fertilizar distintos cultivos se ha evaluado la factibilidad de que sea a través de riego. Claramente, además de los resultados positivos que evidencia en su investigación Burón Alfano et al. (2010), se encontraron otros artículos, como los realizados por Verónica Charlón et al. (2004) y Diez (2012) en los que también se expone la aptitud de los efluentes para ser utilizados como fertilizantes a través del riego. Esta práctica de manejo de efluentes es la más utilizada a nivel mundial, consiste en la aplicación de efluentes (en superficie o incorporado al suelo) a pasturas, cultivos o lotes de barbecho bajo diferente tecnología. Su principal objetivo es equilibrar el desbalance nutricional originado por la cosecha del forraje en los lotes de producción, así como también enriquecer al suelo de nutrientes, cubrir los requerimientos nutricionales del cultivo, reducir la concentración de efluentes dentro y alrededor de los corrales. Dentro de las formas más comunes para la realización de fertirriego se encuentran por aspersión, superficial (gravedad), con estercolero o localizado (goteo).

Los ensayos conducidos en la EEA INTA Anguil, han resultado en incrementos productivos y de calidad de forraje muy interesantes, dependiendo de las variaciones climáticas interanuales. Estos ensayos, mencionados por Diez (2012), buscan evaluar el efecto sobre la planta (producción y calidad) y sobre el suelo (contenido de nitratos) de los diferentes tipos de efluentes

utilizados. Los mismos fueron diferenciados según el tipo de tratamiento; efluente proveniente de lagunas de tratamiento anaeróbica-aeróbica, efluente crudo sin tratamiento y estiércol sólido, cada tratamiento contó con un testigo sin efluente. Estos efluentes fueron aplicados durante tres años, en dos dosis distintas, a un cultivo de maíz para estimar el rendimiento en materia seca y contenido de nitrógeno. Por otro lado, los ensayos realizados por Charlón et al. (2004), si bien no presentan una diferenciación de los efluentes aplicados, utilizan el efluente proveniente de un depósito temporario de mampostería en el cual se almacenan y luego son bombeados hacia un aspersor que distribuye el efluente a lo largo de una parcela contigua a un testigo sin efluente.

De acuerdo a las conclusiones alcanzadas, por un lado Diez (2012) determina que los efluentes base líquida producen un efecto de manera inmediata mientras que los de base sólida se observan a largo plazo (a partir del segundo o tercer año de aplicación de un mismo lote). También evidencian que el tratamiento con laguna es el que más favorecido se ve en relación a la producción de materia seca y al contenido de proteína bruta. De esta forma demuestran la utilidad de los tratamientos de efluentes para su empleo posterior como fertilizante. A su vez, Charlón et al. (2004), demuestra a través de los resultados que el lote regado presentó mayores contenidos de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo asimilable que la parcela testigo. Que si bien como consecuencia negativa de la aplicación del efluente, el suelo tratado presentó mayores contenidos de sodio intercambiable y una conductividad eléctrica más elevada, en ninguna de las muestras estos indicadores de deterioro de las propiedades del suelo superan los umbrales a partir de los cuales los problemas en el suelo y sobre los cultivos comienzan a manifestarse.

De todas formas, siempre que se decida reutilizar el efluente para riego, es necesario contar con una serie de datos e información como: las características del sitio, es decir, el uso del suelo, su topografía, los cuerpos de agua y perforaciones próximos, la tasa de infiltración de suelo elegido, el balance hídrico y el balance de nutrientes (Correa, 2014). También es preciso tener previsto el almacenamiento en épocas que no puede ser incorporado el efluente al terreno, definir la tasa de aplicación (mm/día) de acuerdo al terreno, tener en cuenta el diseño, instalación y mantenimiento requerido para el sistema y realizar un monitoreo frecuente del suelo y napa de agua subterráneas.

2.2.2. Humedales

Los humedales pueden ser utilizados como otra unidad de tratamiento para mejorar la calidad del efluente vertido a terreno o para lograr que sea posible su vertido a un curso de agua (Correa et al., 2016). Los humedales artificiales son uno de los sistemas de tratamiento de efluentes "naturales", ya que al igual que las lagunas de tratamiento remueven sustancias presentes en los efluentes mediante procesos físicos, químicos y biológicos que usualmente ocurren naturalmente en el ambiente. Dado que estos sistemas no admiten altas cargas de materia orgánica o sólidos, son utilizados con frecuencia como unidades de mejora de la calidad de un efluente ya tratado y con motivo de remover la materia orgánica remanente, es decir, luego, por ejemplo, de una serie de laguna anaeróbica y una o dos lagunas facultativas. Como criterio general la ubicación relativa de estas unidades en el sistema de tratamiento dependerá del nivel de sólidos, de la carga orgánica, el caudal y de los costos de construcción, entre otras variables relevantes.

Estos sistemas tienen las ventajas de no consumir energía y de tener un bajo requerimiento de mano de obra para su operación. Sin embargo, requieren una superficie de

terreno relevante. En los humedales, los procesos de tratamiento ocurren mediante las interacciones entre el efluente, el sustrato, los microorganismos y la vegetación. Dependiendo del medio a través del cual circula el agua, los humedales construidos se clasifican en aquellos de flujo superficial (figura 9), en los que el agua residual fluye a través de los canales superficiales, a través de la zona inferior de los tallos de las plantas arraigadas en el suelo inundado. Mientras que en los de flujo subsuperficial (figura 10), el agua residual infiltra a través de la zona de raíces de las plantas hidropónicas que crecen en los canales de grava inundados y los de flujo vertical. Es importante en este tipo de sistemas tener en cuenta las necesidades de cosecha como una tarea a realizar para el adecuado funcionamiento del sistema.

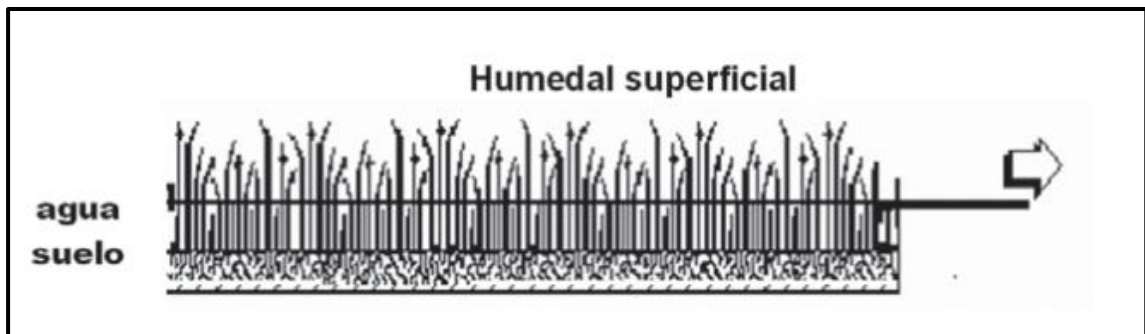


Figura 9. Esquema de funcionamiento de humedal superficial
Fuente: (Tanner & Kloosterman, 1997)

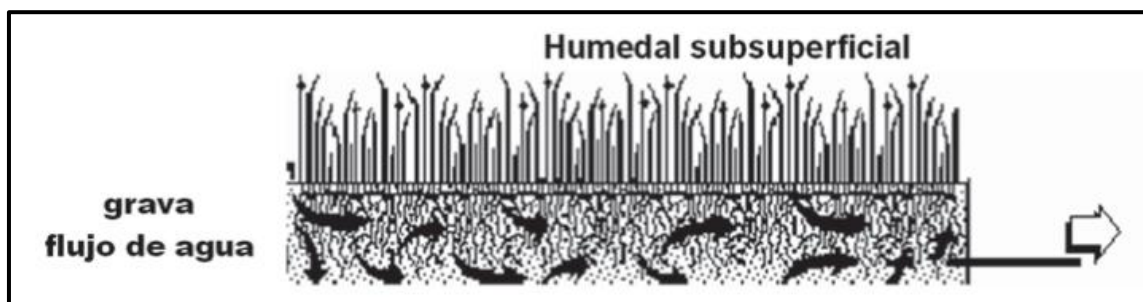


Figura 10. Esquema de funcionamiento de humedal subsuperficial
Fuente: (Tanner & Kloosterman, 1997)

Los humedales construidos o artificiales son diseñados con el fin de replicar y potenciar los procesos que ocurren en los humedales naturales, aplicándolos para el tratamiento de efluentes. El aspecto básico de su diseño es el pasaje del agua en flujo laminar a través de tallos y raíces de las plantas, así como del lecho de tierra o grava que sostiene la población vegetal. Entre las plantas utilizadas en humedales se encuentran plantas emergentes (totora, junco, caña) y sumergidas (por ejemplo, helodea).

Los humedales son sistemas que funcionan básicamente por gravedad, sin involucrar componentes mecánicas o eléctricas para su operación, presentan un mantenimiento sencillo y de bajo costo. Las limitaciones más importantes en la aplicación de humedales radica en la disponibilidad de terreno y en una topografía adecuada que permita una construcción razonable en términos económicos.

2.2.3. Manejo del sólido generado

Si bien actualmente no se trata de una exigencia de los organismos de control, es conveniente que el sólido generado sea sometido a un proceso de estabilización biológica antes de ser usado como mejorador de suelo, ya que de otra forma su incorporación al terreno es lenta y puede ser arrastrado por lluvias.

Apilado

El apilado podría considerarse como un camino intermedio al compostaje. Es más sencillo y eficiente que este último cuando la humedad del sólido es menor. De acuerdo a la época del año, dura entre 3 y 6 meses (Correa, 2014b) hasta que la pila esté madura y pueda ser dispuesta en el terreno. Si se incorporan a la mezcla restos de ración, restos de fardos, podas de árboles, etc., se enriquece la calidad del apilado, ya que el estiércol por sí mismo no es un sustrato equilibrado en sus componentes.

Compostaje

El compostaje es un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas y combinando fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45°C), transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato. Es decir, el compostaje es:

- una técnica de estabilización y tratamiento de residuos orgánicos biodegradables. El calor generado durante el proceso (fase termófila) va a destruir las bacterias patógenas, huevos de parásitos y muchas semillas de malas hierbas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

- una técnica biológica de reciclaje de materia orgánica que al final de su evolución da un producto que provee estabilidad y fertilidad al suelo.

- el resultado de una actividad biológica compleja, realizado en condiciones particulares; el compostaje no es, por tanto, un único proceso. Es, en realidad, la suma de una serie de procesos metabólicos complejos procedentes de la actividad integrada de un conjunto de microorganismos. Los cambios químicos y especies involucradas en el mismo varían de acuerdo a la composición del material que se quiere compostar.

El producto obtenido al final de un proceso de compostaje, el compost, posee un importante contenido en materia orgánica y nutrientes, pudiendo ser aprovechado como abono orgánico o como sustrato (Negro et al., 2000).

Biodigestión

Un biodigestor es un reactor biológico que funciona en una unidad cerrada en la que la materia orgánica (estiércol) se degrada por procesos anaerobios y genera cantidades en general aprovechables de biogás. Consiste en un recinto cerrado que puede ser construido con diversos materiales, como plástico, ladrillo, cemento o metal. El biodigestor de forma cilíndrica o esférica posee un ducto de entrada a través del cual se suministra una mezcla de materia orgánica (estiércol) y agua, y un ducto de salida, a través del cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor.

Con el término “biogás” se designa a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias. Los principales componentes del biogás son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2). Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada es 40-70% metano (CH_4), 30-60% dióxido de carbono (CO_2), 0-3% sulfuro de hidrógeno (H_2S) y 0-1% hidrógeno (H_2).

Según la forma de operar, se puede clasificar a los biodigestores en continuos y discontinuos. Los biodigestores discontinuos no se ajustan a la dinámica de la producción de excretas de bovinos, la cual puede considerarse como continua, por lo que no son de interés para instalarlos en tambos. Una primera clasificación de biodigestores continuos se obtiene según su desarrollo histórico: hay modelos tradicionales, que se construyen en mampostería, y otros más “modernos” que se realizan con materiales más livianos.

- Diseño tradicional: Biodigestor Indio (cúpula flotante metálica) o Biodigestor Chino (cúpula fija).
- Diseño moderno: Biodigestor de polietileno (o PVC) tubular o Biodigestor de polietileno (o PVC) semiesférico.

Este proceso, para ser eficiente, requiere que sea realizado sobre el sólido separado en el proceso de tratamiento, con no menos del 8 a 10% de materia seca. También implica el agregado de otros componentes para enriquecer la mezcla y requiere de fuente de energía para dar lugar a procesos en temperatura adecuada.

Capítulo III: Legislación ambiental

El marco legal de un país o región es un factor sustancial a tener en cuenta a la hora de tomar decisiones en una actividad productiva. Ya sea para que la actividad desarrollada cumpla con la legislación o, en caso de no ser así, buscar alternativas de gestión y de corrección para mejorar la situación en la que se encuentra. También, como para lograr la adecuación e implementación de normas de calidad, aumentando la confianza y el prestigio de la institución.

La supremacía constitucional es un término que hace alusión al artículo 31° de nuestra Constitución Nacional. Se estipula que, si las normas que rigen en una Nación se acomodan por jerarquía como una pirámide: la Constitución Nacional y los Tratados Internacionales sobre Derechos Humanos serían la cúspide, en el siguiente peldaño se encuentran el resto de los tratados internacionales, más abajo le siguen las leyes sancionadas por el Congreso Nacional (Leyes Nacionales) y luego las normativas provinciales (Constituciones provinciales, Leyes Provinciales) y municipales (ordenanzas). Es importante conocer este concepto con el fin de comprender que si bien existen leyes provinciales que adhieren a leyes nacionales, las primeras pueden ser más estrictas que las últimas, pero nunca deben contradecirlas.

Tanto en el ámbito nacional como provincial, no existe una legislación marco aplicable a la actividad tambera relacionada a la producción de leche, pero sí se considera relevante exponer aquellas leyes que tienen incidencia en dicha actividad.

3.1. Marco legal nacional

Artículo 41° - Constitución Nacional

“Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.

Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales. Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos”

Este artículo fue incorporado en la reforma de la Constitución Nacional del año 1994, fue la inserción del derecho ambiental en Argentina y corresponde con el momento en que se comienza a visualizar la problemática ambiental a partir de una serie de cumbres internacionales como la Cumbre Río en 1992. En el mencionado artículo de la Constitución Nacional se desarrolla de manera implícita al concepto de desarrollo sustentable durante el primer párrafo, que fue definido por el Informe Brundtland en 1983. Así como también en el tercer párrafo se incluye la necesidad de dictar presupuestos mínimos por parte de la Nación, que le otorga una obligación a las provincias de redactar leyes específicas de protección. Esto se encuentra vinculado con el Art. 124 que otorga a las provincias el dominio originario

de los Recursos Naturales presentes en su territorio. Las leyes realizadas, tal como expone el concepto de supremacía nacional, deben mantener un nivel de protección dado por los presupuestos mínimos, aunque si pueden ser más exhaustivas.

Además de ser considerado como el marco general a partir del cual se basan los lineamientos de índole ambiental dentro del territorio argentino, el motivo por el cual este artículo es tan importante para la actividad tambera es porque la misma, tal como fue expuesto, puede generar impactos negativos sobre los ecosistemas y los elementos que los componen. Entonces, es de vital importancia llevar a cabo una correcta gestión para que esto no ocurra y así pueda ser respetado el artículo.

Ley Nacional N°25.675: Ley General del Ambiente. Sancionada en 2002.

“Presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.”

Entre otros puntos, esta ley de presupuestos mínimos dispone la competencia judicial y responsabilidad civil ante un caso de daño ambiental; instrumentos de política y gestión ambiental, dentro de los cuales se identifica el ordenamiento ambiental del territorio, la evaluación de impacto ambiental, educación ambiental, etc.; la obligatoriedad de que cualquier persona o actividad que realice actividades riesgosas para el ambiente, de contratar un seguro ambiental; y la creación de un fondo de Compensación Ambiental administrado por cada jurisdicción, destinado a garantizar y preservar la calidad ambiental.

Su autoridad de aplicación es la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Paralelamente, la legislación específica mantendrá su vigencia en cuanto no se oponga a los principios expuestos en la tabla 6.

Tabla 6. Principios básicos Ley General del Ambiente

Principio	Descripción
Principio de Congruencia	La legislación provincial y municipal referida a lo ambiental deberá ser adecuada a los principios y normas fijadas en la presente ley; en caso de que así no fuere, ésta prevalecerá sobre toda otra norma que se le oponga.
Principio de Prevención	Las causas y las fuentes de los problemas ambientales se atenderán en forma prioritaria e integrada, tratando de prevenir los efectos negativos que sobre el ambiente se pueden producir.
Principio de Precaución	Cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del ambiente.
Principio de equidad intergeneracional	Tanto las generaciones presentes como las futuras, tienen el derecho a gozar de un ambiente sano y equilibrado.
Principio de progresividad	Los objetivos ambientales deberán ser logrados de manera gradual, permitiendo la adecuación de las actividades a las nuevas leyes de protección.
Principio de responsabilidad	Aquel que produjera un daño al ambiente actual o futuro, será el responsable de costear las acciones destinadas a la mitigación, corrección o compensación del impacto.
Principio de subsidiariedad	El Estado Nacional posee la obligación de colaborar mediante subsidios las acciones destinadas a la preservación y protección del medio ambiente.
Principio de sustentabilidad	La utilización de los recursos naturales y el desarrollo económico-social, será a mediante acciones racionalmente ambientales, aplicando la ética de sustentabilidad.
Principio de solidaridad	Nación y Estados provinciales serán responsables de la prevención y mitigación de los efectos ambientales transfronterizos adversos de su propio accionar, y de la minimización de los riesgos ambientales sobre los sistemas ecológicos compartidos.
Principio de cooperación	Los recursos naturales y los sistemas ecológicos compartidos serán utilizados en forma equitativa y racional. El tratamiento y mitigación de las emergencias ambientales de efectos transfronterizos serán desarrollados en forma conjunta.

Ley Nacional N° 25.688: Régimen de gestión ambiental de aguas. Sancionada en 2002.

“Establézcanse los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. Utilización de las aguas. Cuenca hídrica superficial. Comités de cuencas hídricas.”

Esta ley propone la creación de las cuencas interjurisdiccionales, así como los comités de cuencas hídricas, con la misión de “asesorar a la autoridad competente en materia de recursos hídricos y colaborar en la gestión ambientalmente sustentable de las cuencas hídricas”.

Entre las competencias de esta ley se encuentra como parte de la utilización de cuerpos de agua tanto superficial como subterráneo, el de “colocación, introducción o vertido de sustancias en aguas superficiales, siempre que tal acción afecte el estado o calidad de las aguas o su escurrimiento”, y “la colocación e introducción de sustancias en aguas subterráneas”. Estos puntos son de especial interés para la presente tesis, considerando los

efluentes generados en la actividad tambera, y para consideraciones en cuanto su tratamiento y reutilización.

Esta ley es aplicable tanto a aguas de dominio público como las de dominio privado. Por otro lado, el “Régimen de Gestión Ambiental de las Aguas” dispone que para utilizar las aguas se deberá contar con el permiso de la autoridad competente. Es decir que las personas que deseen hacer uso del agua de conformidad con este régimen deberán solicitar la correspondiente autorización, aunque la legislación provincial no lo requiera.

Ley Nacional N° 24.051: Residuos Peligrosos. Sancionada en 1992.

Esta ley define como residuo peligroso “todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general”. Los residuos generados en las producciones animales intensivas se hallan enmarcadas solo en lo que respecta a las categorías Y.3 (Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos para la salud humana y animal) e Y.9 (Mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o de hidrocarburos y agua) del anexo I, pero no está definido el residuo orgánico generado (estiércol). Además, podría esta regulación no ser directamente aplicable (dependerá del marco legal provincial, según haya o no adopción del régimen)(A. R. García, Fleite, & Bereterbide, 2016).

Ley Nacional N° 20.466: Ley de Fiscalización de Fertilizantes y Enmiendas. Sancionada en 1973.

Elaboración, fraccionamiento, distribución, importación y exportación de fertilizantes y enmiendas. Decreto Reglamentario 4830/1973. Artículo 15.- Los fertilizantes orgánicos como ser estiércol, compost, etc., y enmiendas orgánicas no sometidas a manipulación industrial quedan exentos del cumplimiento de los requisitos del presente decreto y su venta bajo análisis es optativa. No se podrá hacer referencia a su composición química o bioquímica o elementos nutrientes sin haberlos sometido a análisis previos. Es decir que el estiércol o compost generado en las producciones animales intensivas queda fuera de esta norma.

Código Alimentario Argentino (CAA)

La ley N° 18.284, junto con el Decreto N° 2.126 Anexo I y II, actualizados a octubre de 2014, conforman el Código Alimentario Argentino. En él se encontrarán las definiciones y los parámetros básicos que regulan la calidad y composición de los diversos alimentos producidos en el territorio nacional.

El CAA en su artículo 553, define “Alimento Lácteo” como la leche extraída de cualquier mamífero (en particular los vacunos), que son destinados al consumo humano. Así mismo, incluye en la definición todos aquellos derivados o subproductos, crudos o transformados.

Particularmente en el Art. 554 define la “Leche” (sin calificativo alguno), al producto obtenido “por el ordeño total e ininterrumpido, en condiciones de higiene, de la vaca lechera en buen estado de salud y alimentación, (...), sin aditivos de ninguna especie”. Cabe aclarar que limita la definición a aquel producto proveniente de la vaca, aclarando que la proveniente de cualquier otro animal deberá denominarse con el nombre de la especie productora.

Entre los parámetros de calidad establece las siguientes características físico-químicas (actualizado por Resolución conjunta Secretaría de Políticas, Regulación e Institutos N° 252/2014 y Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca N° 218/2014):

- . Densidad a 15°C: 1,028 a 1,034. (El código omite unidad de medida, aunque se sobreentiende que es gr/ml)
- . Materia grasa propia: Mínimo 3,0 gr/100 cm³.
- . Extracto seco no graso (determinado analíticamente): Mínimo 8,2 gr/100 gr.
- . Acidez en ácido láctico: 0,14 a 0,18 gr/100 cm³.
- . Descenso crioscópico: -0,512 °C. Tolerancia de 5%.
- . Proteínas totales (N x 6,38 determinado por la metodología analítica oficial - Método 13.13 – Determinación de Proteínas totales): Mínimo 2,9 gr/100gr.”

Por último, en el Art. 556 bis, actualizado por Resolución conjunta Secretaría de Políticas, Regulación y Relaciones Sanitarias y Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca N°33/2006 y N° 563/2006, se prohíbe en todo el país la venta al público de leche cruda, sin tratamiento pasteurizador y/o tratamiento térmico. En caso que esto sea imposible (en pequeñas localidades), se debe solicitar un permiso especial a la autoridad sanitaria provincial correspondiente.

Por otro lado, cabe destacar lo que se establece en el Capítulo II de “Condiciones generales de las fábricas y comercios de alimentos” del C.A.A., el cual a partir del artículo 34, pertenece al apartado “Tambos” donde se presenta una definición de la actividad y se establecen los criterios mínimos en infraestructura y funcionamiento del establecimiento.

Se resalta la importancia que le otorgan al consumo y calidad de agua para la actividad, así como al manejo de los efluentes. Al respecto, el Artículo 43 del C.A.A. dice “Los tambos deben disponer de provisión de agua potable y de los medios adecuados para la limpieza del establecimiento”. Por otro lado, se establece que, en ausencia de un estercolero, el residuo orgánico (estiércoles) y todo otro residuo sólido, debe depositarse a una distancia mínima de 50 metros del local de ordeño.

Resolución 97/2001: Reglamento para el Manejo Sustentable de Barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos.

Si bien fue derogada en el año 2018 por la Resolución 410 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, marca un precedente en términos de gestión de barros provenientes de plantas de tratamiento de efluentes líquidos.

La Resolución 97/2001 a diferencia de la 410/2018, hace referencia a la gestión de los barros y biosólidos generados en las plantas de tratamiento de efluentes agroindustriales, término descartado en la nueva resolución vigente, en la que solo tiene en cuenta las plantas de tratamientos de efluentes cloacales y mixto cloacales-industriales.

Considera que las normas legales relacionadas son insuficientes para asegurar una gestión ambientalmente sustentable y que para establecer una política de control que permita mejorar la calidad del ambiente, es necesario identificar actores y orientar las diferentes medidas a los sectores correspondientes.

Tiene como objetivo regular el manejo, tratamiento, reutilización y disposición final de los barros que se generan a partir de distintas operaciones en plantas de tratamiento de efluentes cloacales, mixtos, industriales, agroindustriales, especiales, y asegurar una gestión sustentable de estos.

Define los distintos tipos de barros que pueden generarse y también el valor máximo admisible de la concentración de un determinado elemento o compuesto químico en un cuerpo receptor, en un barro y en un cuerpo receptor en condiciones controladas.

Decreto Ley N° 2.687/1977 – SENASA.

Establecen normas para habilitación, funcionamiento y fiscalización de alimentos lácteos.

3.2. Marco legal de la provincia de Buenos Aires

Artículo 28° - Constitución Provincial

El Artículo 28 adecua lo redactado por el Art. 41 de la Constitución Nacional. En ella se plantea el derecho de los habitantes de la Provincia de Buenos Aires a gozar de un ambiente sano y equilibrado, el deber de conservarlo y protegerlo, y velar por un uso sustentable de los recursos, para las generaciones presentes y futuras.

Al igual que en la Constitución Nacional, se debe asegurar políticas de conservación y recuperación de calidad de agua, aire y suelo, preservando, recuperando y conservando los recursos naturales presentes en su territorio. Sin embargo, este nuevo marco legal no es de principio básico como a nivel nacional, sino que son normas y estándares de control. Los Municipios pueden realizar Ordenanzas específicas a un tema ambiental, pero no deben contradecir lo establecido por las leyes provinciales ni nacionales, aunque pueden ser más estrictas.

Por último, establece la responsabilidad civil de los ciudadanos de la Provincia en cuanto daño ambiental, obligándolos a tomar medidas de corrección o mitigación en caso de que produzca un daño al medio. Autoridad de aplicación: OPDS.

Decreto Ley 8912: Ley de ordenamiento territorial y uso del suelo. Sancionada en 1977

Texto Ordenado por Decreto 3.389/87 con las modificaciones del Decreto-Ley N° 10.128 y las Leyes N° 10.653, 10.764, 13.127, 13.342 y 14.449. Reglamenta el ordenamiento del territorio de la Provincia y regula el uso, ocupación, subdivisión y equipamiento del suelo. Los municipios delimitan su territorio en: a) Áreas rurales. b) Áreas urbanas y áreas complementarias destinadas a emplazamientos de usos relacionados con la producción agropecuaria extensiva, forestal, minera y otros. El área rural comprenderá las áreas destinadas a emplazamientos de usos relacionados con la producción agropecuaria extensiva, forestal, minera y otros. Autoridad de aplicación: Municipios.

Ley Provincial N° 11.723: Ley Integral del medio ambiente y los recursos naturales. Sancionada en 1995.

Decreto reglamentario N° 4.371/95. Esta norma tiene por objeto: protección, conservación, mejoramiento y restauración de los recursos naturales y del ambiente en general en el ámbito de la provincia de Buenos Aires a fin de preservar la vida en su sentido

más amplio asegurándose las generaciones presentes y futuras la conservación de la calidad ambiental y la diversidad biológica. En sus artículos 10 y 11 hace referencia a proyectos de realización de obras o actividades que produzcan o sean susceptibles de producir algún efecto negativo al ambiente de la Provincia de Buenos Aires y/o sus recursos naturales, estableciendo la obligatoriedad de presentar junto con el proyecto una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

En el Capítulo VII, de los residuos, establece que todo residuo que no esté incluido en la categoría de especial, patogénico ni radiactivo, será de incumbencia Municipal. Si bien en el anexo II punto I de esta ley, las producciones animales no están incluidas como proyecto que debe ser sometido a EIA, en el punto II del mismo las incluye de manera general. Autoridad de aplicación: OPDS y Municipios de la Provincia de Buenos Aires.

Ley N° 12.257: Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires. Sancionada en 1999.

El Código “establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la Provincia de Buenos Aires” (Art 1). Le atribuye al Poder Ejecutivo, entre otros, el formular una política del agua en marco de la legislación provincial y el declarar Reservas de protección de cuerpos de agua.

Incluye la necesidad de realizar un inventario preciso de las existencias dentro del territorio provincial, tanto del recurso superficial como del subterráneo y del atmosférico. Regulariza las obras, servicios y labores relativos a la calidad de agua y tratamientos de efluentes. Establece que la Autoridad de Aplicación deberá crear Comités de cuenca hídricas que buscarán un desarrollo integrado de la cuenca o región y evaluar iniciativas de estudio, inversión y acción en el área.

Por otro lado, a partir de lo establecido en la Ley, en su Art. 3 y 4, y de la Sanción del Decreto 266 del año 2002, se aprueba la creación en el ámbito del Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Subsecretaría de Servicios Públicos, de la estructura organizativa descentralizada de la Autoridad del Agua (ADA), confiriendo las funciones de autoridad de aplicación en lo referente al control de la calidad de agua dentro de la Provincia.

Ley N° 5.965: Ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera. Sancionada en 1958.

Decreto 2.009/60 y modificatorio (3.970/90). El artículo 4° se refiere a las descargas directas o indirectas de efluentes a cursos o fuentes de agua.

Resolución 389/98 y su modificación Resolución 336/03 - Autoridad del Agua.

Establece normas de calidad de los vertidos de efluentes líquidos residuales y/o industriales a los distintos cuerpos receptores de la provincia de Buenos Aires. Establece los parámetros de calidad de las descargas de los límites admisibles según el destino del vuelco (colectora cloacal, conducto pluvial o cuerpo superficial de agua, absorción por suelo, o mar abierto). Su modificación (Res. 336/03) incorpora ramas de actividades a las que no se les permite disponer de los efluentes líquidos en pozos absorbentes y modifica parámetros de descarga admisibles. Agrega el listado de pesticidas organoclorados y organofosforados que figuran en la Ley 11.720. Los límites admisibles de los parámetros establecidos son los actualmente exigidos a las producciones animales intensivas (feedlots, tambos, avícolas y

porcinos) y están presentes en el Anexo II de dicha Resolución. Los límites de los parámetros más significativos para la actividad tambera están resumidos en la tabla 7.

Tabla 7. Límites admisibles de vuelco según Resolución 336/03 - ADA

Resolución 336 - ADA			
Parámetros	Parámetro	Cond. Pluv. o cuerpo de agua superficial	Absorción por el suelo (h)
	pH	6,5 – 10	6,5 – 10
	Conductividad (mS/cm)	No aplica	No aplica
	K (mg/l)	No aplica	No aplica
	NH ₄ ⁺ (mg/l)	≤ 25	≤ 75
	NKj (mg/l)	≤ 35	≤ 105
	P Total (mg/l)	≤ 1,0	≤ 10
	DQO (mg/l)	≤ 250	≤ 500
	DBO (mg/l)	≤ 50	≤ 200
	SSEDIM 10' (ml/l)	Ausente	Ausente
	SSEDIM 2 hs (ml/l)	≤ 1,0	≤ 5,0
	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	≤ 2000	≤ 2000

Ley Provincial N° 11.347. Tratamiento, Manipuleo y Disposición Final de Residuos Patogénicos. Promulgada en 1992

Como su nombre lo indica, esta ley tiene como objeto el de establecer las bases para la gestión de los residuos patogénicos, definidos como el desecho o elemento, sólido, líquido o gaseoso, que presente una toxicidad y/o actividad biológica tal que ponga en peligro la salud de los seres vivos, y causar una contaminación al suelo, agua o aire. En el contexto de este trabajo es importante tener en cuenta esta ley ya que en las unidades productivos existe la presencia de restos de animales, considerados residuos patogénicos.

El Decreto Reglamentario N° 450/94 de la Ley N° 11.347 (actualizado en el Decreto N° 403/97) presenta los pasos a seguir en la gestión de los residuos (generación, manipuleo, transporte, tratamiento y disposición final). Para ello clasifica los residuos patogénicos en tres clases:

. Clase A: Provenientes de la administración de establecimientos destinados a la salud. Son asimilables con los RSU.

. Clase B: Son los residuos generados a partir de la atención de los pacientes o por investigación científica, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos, que presentan las características descritas anteriormente de los residuos patogénicos. Dentro de esta clase, encontramos, por ejemplo, vendas, sangres, miembros amputados, jeringas, etc.

. Clase C: Incluye los residuos radiactivos provenientes de las maquinarias utilizadas para el diagnóstico de los pacientes, dígase por ejemplo de radiología y radioterapia. En tal caso deben recibir un tratamiento diferencial, correspondiente a sus características físico-químicas.

Ley Provincial N° 11.720. Ley de Residuos Especiales. Sancionada y Promulgada en 1997

Esta Ley dispone los parámetros básicos para llevar a cabo una gestión de los residuos especiales generados dentro de la provincia de Buenos Aires. Define los residuos especiales de acuerdo a su origen descrito en el Anexo I, a menos que no posean las características enunciadas en el Anexo II.

Al igual que la Ley Nacional N° 25.612 de Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividades de Servicios, confiere al generador de los residuos total responsabilidad de los mismos hasta llegados a la disposición final o tratamiento. Incluye la utilización del manifiesto como herramienta de control y seguimiento de los residuos, donde se describe, entre otros, la composición y volumen total de los residuos transportados.

Ley N° 14.520. Régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la Provincia de Buenos Aires. Sancionada en 2013

Decreto 416/13. Creación de una red hidrométrica provincial integrada por estaciones de relevamiento de datos in situ, estaciones remotas y una estación central; con el objetivo de mantener actualizado el banco de datos hidrológicos. Autoridad de aplicación: Autoridad del Agua.

Resolución 2222/19 - Autoridad del Agua.

Cabe relevancia mencionar el proceso preexistente a través del cual fueron siendo derogadas distintas resoluciones competentes al tema en cuestión, hasta llegar a la única Resolución que rige en términos de permisos para explotación hídrica.

La Resolución 017/13 corresponde a la regulación de los requisitos necesarios para la construcción y puesta en funcionamiento de obras de tratamiento de efluentes líquidos generados en feedlot, tambos y producción porcina, dentro de la Provincia de Buenos Aires. Así mismo especifica la documentación técnica necesaria para evaluar las obras proyectadas. Esta resolución es derogada en el mismo año por la 465/13 en la que se reglamenta las obligaciones de los usuarios del agua para su ingreso al Banco Único de Datos de Usuarios de Recursos Hídricos (BUDURH). Abarca entre otros a los establecimientos pecuarios como requisito indispensable para la tramitación de permisos y concesiones en el uso de los recursos hídricos y/o cuerpos de agua bonaerenses. A su vez, esta última resolución es derogada por la 333/17, la cual estuvo en vigencia hasta el año 2019. En esta última se aprueba el reglamento de los procesos para obtención de prefactibilidad, autorizaciones y permisos.

Finalmente, la Resolución 2222/19 deroga a la mencionada 333/17, quedando en vigencia como la única Resolución referente a la explotación de Recursos Hídricos. Por un lado, aprueba el Proceso de Pre Factibilidad Hídrica (Fase 1), los Procesos de Aptitud de Obra (Fase 2), los Procesos de Permisos (Fase 3), sus respectivos flujos y también presenta una tramitación electrónica integrada a través del Portal Web de la Provincia de Buenos Aires.

Resolución 162/07 y su modificación Resolución 444/08 – Autoridad del Agua.

Bases para establecer el monto de las multas impuestas por infracciones a la Ley N° 5.965 (vuelco de efluentes en cuerpos de agua). Sobre multas por reincidencia de infracciones referentes a evacuación de efluentes y corrección de parámetros. Establece una ecuación básica para determinación de multas y monto de infracciones a quienes incurran en reincidencia.

Resolución 737/18 – Autoridad del Agua.

Establece un régimen para el Uso Agronómico (UA) de los efluentes generados en los establecimientos dedicados a la producción primaria de leche y/o masa para mozzarella en Tambos. Las condiciones de UA de los purines generados en los establecimientos dedicados a la actividad láctea (tambos) serán establecidas en la Guía de Buenas Prácticas (GBP).

Los usuarios que realicen el Uso Agronómico de los purines en el marco de esta resolución deberán tramitar la obtención de pre factibilidades, autorizaciones y permisos, de acuerdo al procedimiento específico, sin que corresponda la aplicación de las Resoluciones ADA N° 333/17 (derogada por la Resolución 2222/19), N° 389/98 y su modificatoria N° 336/03. El trámite para la obtención de certificados, autorizaciones y permisos, se realiza bajo la modalidad de declaración jurada conforme Anexos de la resolución. En el diagrama de la figura 11 se resume los pasos a seguir hasta obtener el permiso definitivo renovable. El mismo se aplicará por 4 años en tambos con menos de 100 vacas en ordeño.

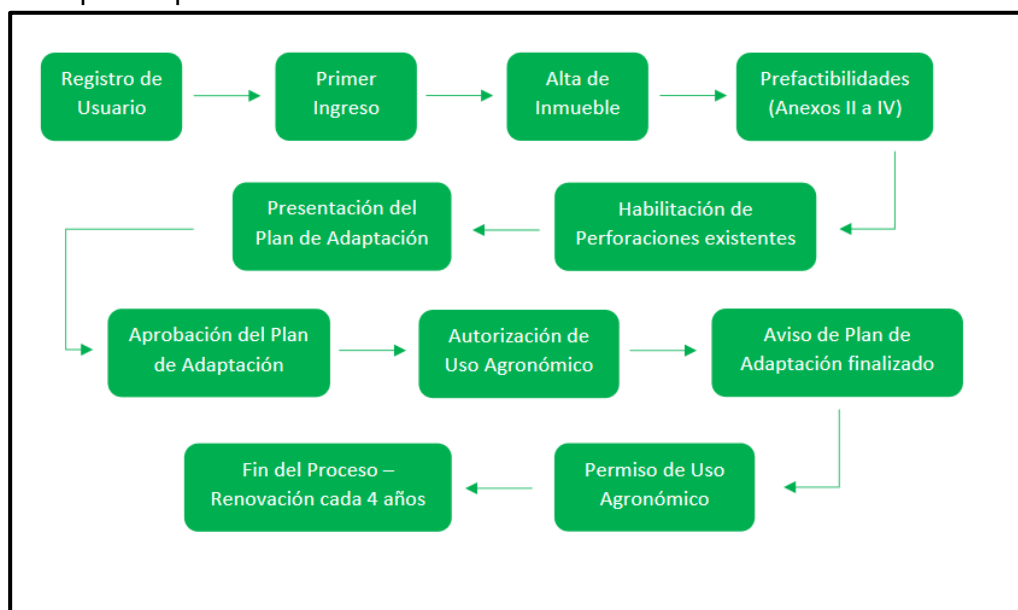


Figura 11. Pasos para obtener el permiso de uso agronómico de purín

Fuente: (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2019)

Resolución 257/14 – Autoridad del Agua.

Canon del agua, Decreto reglamentario 429/13 de la Ley 12.257 (artículo 43). Se implementa el cobro del canon a los usuarios por el uso del agua pública en el territorio de la Provincia de Buenos Aires.

Pese a que a nivel municipal no se encontraron normativas específicas competentes a la presente problemática, se tuvo en consideración la Ordenanza 92/10 y su Ordenanza modificatoria 52/14 concerniente al Código de Zonificación del Partido de Balcarce.

Capítulo IV: Propuesta de tratamiento de efluentes para un tambo localizado en el partido de Balcarce.

4.1. Caso de estudio

El tambo seleccionado para el presente trabajo está situado sobre un camino rural a 2500 m de la Ruta Nacional N° 226 kilómetro 74, dentro del Partido de Balcarce, Buenos Aires, Argentina, a 10 kilómetros de la ciudad cabecera homónima (figura 12). El establecimiento se encuentra gestionado por la EEA INTA Balcarce y posee una superficie aproximada de 113 ha, distribuidas en distintas parcelas no cultivables (23 ha) y cultivables (90 ha).

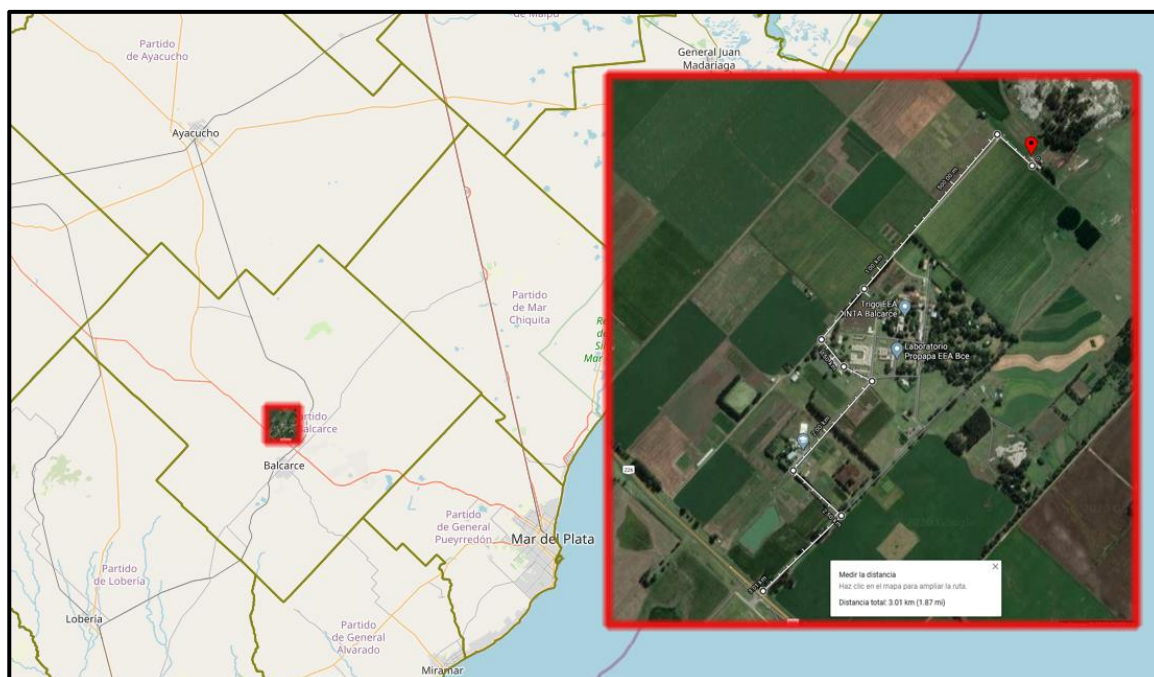


Figura 12. Localización del partido de Balcarce y del tambo utilizado como caso de estudio.

El caso de estudio escogido pertenece a la Cuenca Lechera Mar y Sierras dentro de la provincia de Buenos Aires. La cuenca tiene una superficie estimada de 68.267 km² abarcando los partidos de Olavarría, Azul, Rauch, A. Gonzales Chávez, Benito Juárez, Tandil, Ayacucho, Tres Arroyos, San Cayetano, Necochea, Lobería, Balcarce, Mar Chiquita, Gral. Alvarado y Gral. Pueyrredón (Ministerio Provincial de Asuntos Agrarios, 2009).

El Partido de Balcarce se encuentra ubicado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, República Argentina; en el sector central del sistema de Tandilia y ocupa una superficie total de 4121,11 km². El partido limita con los partidos de Ayacucho y Mar Chiquita al noreste, Tandil y Ayacucho al noroeste, Lobería al sudoeste y General Pueyrredón y General Alvarado al sureste.

Vías de comunicación

Se presentan dos rutas importantes: la ruta nacional N° 226 con un trazado sureste-noroeste que comunica la ciudad de Balcarce con la ciudad de Mar del Plata (hacia el sureste) y con la ciudad de Tandil (hacia el noroeste), y la ruta provincial N° 55 que une la ciudad de Balcarce con la ciudad de Coronel Vidal. Una red de caminos vecinales (pavimentados o de tierra) conectan a la ciudad cabecera del partido con el resto de las localidades.

Localidades

La ciudad de Balcarce es la ciudad cabecera y constituye el núcleo urbano más importante del partido. Las demás localidades se desarrollaron a partir de las localizaciones de las estaciones de ferrocarril. Ellas son: Napaleofú, Bosch, Ramos Otero, San Agustín y Los Pinos.

4.1.1. Descripción del medio ambiente físico de la zona de influencia del tambo

Relieve terrestre

La configuración del relieve en el área del partido de Balcarce se caracteriza por la presencia de las sierras del sistema de Tandilia en su mitad sur, con elevaciones que alcanzan su máxima expresión en Sierra Bachicha con aproximadamente 383 m sobre el nivel medio del mar, y un ambiente de llanura en el sector norte y noreste, donde se presentan las áreas de menor altura del Partido del orden de los 35 m.

Geomorfología

El área que abarca el partido de Balcarce incluye rocas de muy diferentes edades, así como un paisaje con geoformas de muy distinto origen y edad. Pueden reconocerse tres ambientes geomórficos principales: Sierras, Franja Eólica Periserrana y Planicie Fluvio Eólica. Los rasgos dominantes del paisaje corresponden a los afloramientos serranos del sistema de Tandilia. Estas sierras y serranías se presentan aisladas entre si y separadas por amplios valles, que han sido cubiertos por depósitos eólicos, esencialmente limosos (loess) que forman un paisaje de colinas. Hacia el norte, este relieve de colinas pasa tradicionalmente a una llanura de muy bajo gradiente (Planicie Fluvio Eólica), donde se pueden identificar mediante imágenes satelitales geoformas fósiles de origen eólico (Tomas et al., 2005).

Particularmente el tambo estudiado se encuentra a unos escasos 100 metros de una afloración rocosa, la cual está rodeada de un conjunto de arbustos característicos de la zona. Asimismo, a 3,5 km aproximadamente al noreste se localiza la formación rocosa de 321 m de altura "Cinco Cerros".

Cuencas y redes de drenaje

La hidrografía se presenta como una red compuesta por cursos de agua permanentes e intermitentes, con nacientes en el área serrana y trazado generalmente de dirección suroeste-noreste. Como sucede en todo el sudeste bonaerense, la hidrografía del partido se caracteriza por cursos de escasa expresión topográfica, a menudo de régimen intermitente, son arroyos de pequeño cauce y de bajo caudal. Los cuerpos de agua en forma de bajos inundados o lagunas intermitentes se presentan más frecuentes en el área noroeste del partido. La laguna La Brava, al pie de la Sierra del mismo nombre en el límite sureste del partido, es la única laguna permanente.

En el área serrana se encuentran las nacientes de los arroyos, que luego de recorrer la llanura desagan en el Océano Atlántico. Las cuencas de drenaje, reconocidas a partir de los mapas topográficos editados por el Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) de escala 1:50.000, comprenden

dos grandes grupos: aquellas cuyos arroyos escurren desde la zona serrana hacia el este y sudeste ("Vertiente Oriental") y aquellas cuyos arroyos escurren desde la misma zona, pero hacia el oeste y sudoeste ("Vertiente Occidental").

En el área de estudio observada el curso de agua más cercano se encuentra a 5 km con respecto al establecimiento, y el mismo es de cauce intermitente, con su origen en "Cinco Cerros". A su vez, unos 6 km hacia el noroeste se localiza el arroyo permanente "Crespo".

Suelos

Para describir los suelos del partido de Balcarce se utilizó el mapa de suelos del Atlas Digital de Balcarce que ha sido digitalizado sobre la base de las Cartas de Suelos de la República Argentina escala 1:50.000, material cartográfico producido por el Área de Investigación en Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras del Instituto de Suelos del Centro de Investigaciones de Recursos Naturales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1979). En este mapa las delineaciones permiten observar cómo los distintos suelos se distribuyen en el partido de Balcarce. De la superficie total del partido:

- el 46,2 % son suelos bien drenados
- el 7 % son suelos someros
- el 39,2 % son suelos moderadamente profundos y profundos
- el 1,95 % son afloramientos rocosos
- el 0,51 % son lagunas
- el 0,33 % son áreas misceláneas (sectores urbanos)

Los suelos que presentan algún grado de exceso de humedad y/o sodicidad ocupan el 51 % de la superficie del partido, correspondiendo mayoritariamente a la Planicie Fluvio eólica. De este porcentaje, 28,5 % corresponden a suelos alcalinos e hidromórficos, 13,70 % a suelos con leve o moderado grado de alcalinidad y exceso de humedad y sólo 8,8 % a suelos con algún grado de hidromorfismo pero sin sodicidad y salinidad.

El horizonte superficial se caracteriza por tener un contenido de carbono orgánico entre 24 a 44 g C kg⁻¹, una textura franca y un pH en agua (relación suelo:agua, 1:2,5) entre 6 y 8. Los principales minerales que componen los acuíferos de la cuenca son cuarzo, plagioclasa, feldespatos de potasio, y cantidades variables de silicatos amorfos en forma de vidrio volcánicos.

Los suelos dominantes son poco o medianamente profundos, con presencia de un manto de carbonato de calcio (tosca) a menos de 1,5 m de profundidad (Argiudoles típicos y petrocálcicos), entremezclados con suelos profundos, fértiles y bien drenados, en los que la tosca no forma un manto continuo (Argiudoles típicos). En menor medida, en las zonas serranas se encuentran suelos líticos poco profundos, con roca muy cerca de la superficie, moderadamente bien drenados (Hapludoles líticos e Inceptisoles). En los suelos del partido en general, se presentan limitaciones de profundidad por presencia de tosca o afloramientos rocosos y riesgos de erosión hídrica por pendientes pronunciadas, sobre todo en las zonas más próximas a las sierras (INTA, 2011).

Según la Carta de Suelos proporcionada por el INTA, el suelo donde está ubicado el tambo estudiado pertenece a la Serie Mar del Plata (MP) y presenta una taxonomía principal Argiudol Típico. Es un suelo franco limoso, oscuro, bien drenado con permeabilidad moderada y nivel freático profundo (entre 80-100 msnm) (Massone, Martínez, & Tomas, 2005).

Clima

El régimen hídrico es subhúmedo-húmedo, con una precipitación media anual de 900 mm, sin estacionalidad marcada, aunque la temporada estival es más lluviosa. Los meses de mayor precipitación son marzo y diciembre y el mes más seco es agosto. En promedio presenta 90 días de lluvias por año, de tipo frontal, que suelen ser muy intensas y erosivas, sobre todo en el verano. El balance hídrico es casi equilibrado, con un déficit estival que es compensado por el excedente de invierno (Culot, 2000).

El partido está beneficiado por un clima templado con influencia oceánica. El intercambio de las masas de aire se ve favorecido por el sentido local de la circulación atmosférica de NE-SO. La temperatura promedio anual es de 13,3 °C. Desde octubre a mayo se considera el período libre de heladas. La temperatura media del mes más frío es de 7°C, la temperatura media del mes más cálido es de 21°C.

Los vientos predominantes circulan en dirección suroeste-nordeste, con una velocidad media de 17 km.h⁻¹. Predominan los frentes fríos y secos, aunque también ingresan frentes calurosos y húmedos desde el nordeste. La humedad relativa promedio es del 78 % anual y los meses más húmedos son julio (86 %) y junio (85 %), siendo enero y diciembre los de menor humedad, con 70 % y 71 % respectivamente.

Vegetación y Fauna

La vegetación original predominante en el partido de Balcarce es la estepa o pseudoestepa de gramíneas (pastizal), combinando elementos arbustivos como las retamas, y en áreas serranas los curros y chilcas (*Bacharis spp*) (Bilencia & Miñarro, 2004). Con respecto a la fauna, en la provincia de Buenos Aires existen más de 400 especies de aves registrada (Di Giacomo, 2005), muchas de las cuales aparecen en el partido de Balcarce, como teros, gaviotas, perdices, chimangos, lechucita de las vizcacheras, golondrinas, cisnes, gallaretas, garzas, patos y una gran variedad de pájaros. Entre los mamíferos nativos pueden observarse zorros, zorrinos, comadrejas, carpinchos, mulitas y hurones, entre otros. Entre los anfibios se pueden encontrar ranitas de zarzal, sapos, escuerzos. Algunas especies de reptiles que se observan son culebras, yarará o víbora de la cruz, lagartijas y lagarto overo. Entre los peces de las lagunas y arroyos se encuentran madrecitas, chanchitas, tarariras, bagres, entre otros.

4.1.2. Descripción del medio socioeconómico de la zona de influencia del tambo

Área de influencia

El predio donde funciona el establecimiento tiene un total de 113 ha. El área total afectada que corresponde al sector edilicio es de aproximadamente 500 m². Existe un total de 23 ha no

cultivables, que son aptas para realizar cualquier tipo de construcción relacionado a un sistema de tratamientos.

Usos del suelo y ocupación

El área donde funciona el tambo posee un uso de suelo rural, apto para la actividad que se desempeña, según el Código de Zonificación - Ordenanza 92/10 y su Ordenanza modificatoria 52/14 de la Municipalidad de Balcarce. Los usos de suelo de su entorno son los siguientes:

- Agricultura: el predio está rodeado de parcelas con diversos cultivos destinadas a pastoreo y gestionadas por el tambo y parcelas con otros cultivos del INTA, la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Mar del Plata y privados.
- De las instalaciones vecinas, se destacan las pertenecientes al INTA, a un kilómetro de distancia aproximadamente, los establecimientos de la Facultad de Agronomía a 1,5 km, el establecimiento "Las Pipas" a 1,5 km y el Instituto Adventista Balcarce, a unos 5 km de distancia.

4.1.3. Infraestructura

Infraestructura vial

El establecimiento lechero se encuentra localizado en la Ruta Nacional N° 226 kilómetro 73,5, se accede al mismo ingresando al predio del INTA, y durante 3 km se sigue un camino asfaltado al inicio y rural en buen estado, en el último tramo. Otra vía de ingreso es a través del camino rural ubicado en el kilómetro 74, se atraviesan 2200 metros y luego se gira hacia la derecha otros 300 metros hasta encontrarse con el establecimiento lechero.

Infraestructura básica

Debido a que el área donde funciona el tambo posee un uso de suelo rural, la infraestructura de servicios con la que cuenta el sitio es la característica de este tipo de áreas. Se cuenta con tendido eléctrico y agua obtenida por extracción mediante pozos de bombeo.

4.1.4. Proceso Productivo

Con respecto a las instalaciones del tambo estudiado (figura 13), existen dos caminos rurales para acceder en vehículo al predio. El predio cuenta con el espacio suficiente para que el transporte de recolección de leche realice las maniobras necesarias. Exceptuando el momento en el que las vacas están dentro de las instalaciones, habitualmente se las encuentran pastoreando en las parcelas contiguas al predio. Dependiendo el estado de la vaca, las mismas son agrupadas en distintos sectores. Existen las vacas en ordeño, que son las de nuestro interés, las cuales están apartadas de las vacas en parto, que a su vez están separadas de las vacas secas. A su vez en corrales específicos están agrupadas vaquillonas preservicio, en otro corral vaquillonas más pequeñas llamadas "recrea 2", en otro "recrea 1" que son machos y hembras que salen de la "guachera" hasta los 120 kilos, en otro los machos de engorde y por último existe un sector llamado "guachera" en el cual hay terneros y terneras que toman leche durante 60 días.

Si bien existe una zonificación según la clasificación de la vaca, las vacas en ordeño son las estudiadas en este caso y al momento de ingresar a las instalaciones desde los distintos

potreros, lo hacen de manera calma, atravesando los callejones de tierra negra de 4 metros de ancho aproximadamente. El corral de espera posee un único acceso, es de forma circular, está rodeado por un cerco de caños galvanizados de 1,5 m de altura y el piso de cemento posee una rugosidad que impide los resbalamientos.

La sala de ordeño es del tipo espina de pescado. Posee 6 bajadas, que permite ordeñar 12 vacas simultáneamente (figura 13). Los pisos son de cemento y existe una correcta iluminación y ventilación natural, pero se evidencia la falta de cartelera y señalización. En relación al equipo de ordeño que acompaña el circuito de la leche, el mismo consta de una ordeñadora y una serie de cañerías a través de la cual circula la leche y la conduce hasta su destino final, el tanque de almacenamiento. Atravesando con anterioridad un filtro colocado en las cañerías, que se encuentra ubicado previamente a una placa de refrescado que, si bien actualmente no está en funcionamiento, representaría un paso previo al almacenamiento y enfriado en el tanque. Pese a que el suelo de la sala de ordeño presenta un buen drenaje, se notó la formación de pequeños charcos en distintos sectores de la misma. La sala de enfriamiento tiene un área aproximado de 50 m² y se encuentra a continuación de la sala de ordeño, es un ambiente cerrado en el que se halla el tanque de 5000 litros de capacidad. A su vez también existe un sector en el cual se almacenan todos los productos veterinarios, de higiene y demás.

Teniendo en cuenta los objetivos del presente trabajo es importante mencionar cómo es el proceso diario para la extracción, enfriado y almacenamiento de la leche. Si se individualizan las acciones u operaciones realizadas durante la rutina diaria, esas serían las principales. Para el presente apartado se tomó en cuenta todos los datos e información proporcionada por el médico veterinario encargado actualmente del tambo, Pablo Ferreyra, y el co-director del presente trabajo, médico veterinario Francisco Stefañuk, quien previamente desempeñó su labor también en dicho establecimiento.

El comienzo del proceso arranca con el arreo de las vacas hacia las instalaciones. Se realizan dos ordeños diarios, el primero comienza a las 6:00/6:30 hs y el segundo a las 17:00/17:30 hs. La raza de vacas predominante en el tambo es la *Holstein americana*, cuentan con un total de 90 vacas en ordeño promedio anual y una producción diaria de 1700 litros de leche, equivaliendo a un aproximado de 21 litros/VO/día. Una de las aclaraciones realizadas por los entrevistados es que en la institución realizan la rutina de ordeño más corta posible, la cual la llevan a cabo de manera tranquila, propiciando un buen trato hacia el animal. Esta observación es remarcada a lo largo de la conversación ya que indican y explican que la vaca es un animal de rutina y frente a un momento de estrés o nervios expresa los mismos y la adrenalina a través del bosteo y de una disminución en su productividad.

Al momento de ingresar en las instalaciones, las vacas se posicionan dentro del corral de espera para seguir en línea recta e ingresar a la sala de ordeño, en la cual ordeñan 12 vacas simultáneamente. Una vez ubicadas en su posición dentro de la espina de pescado, se les proporciona alimento balanceado comercial a través de un mecanismo regulado por un timing, que luego de presionar un botón, caen 3 kg de alimento en un recipiente o comedero por cada ordeño. Es decir que se le provee a cada vaca en ordeño 6 kg diarios de alimento balanceado. Durante los minutos que la vaca se alimenta se procede a ordeñarlas.

El sistema de producción del tambo es pastoril con suplementación, implica la necesidad de cultivos que sirvan de alimentación para las vacas. Durante la mañana/tarde, fuera del momento de ordeño, las vacas se encuentran pastoreando y en otro turno se suplementan con ensilaje de maíz. Durante los días de alta temperatura, este forraje es suministrado en sectores

donde se proyectan sombras, de manera tal que el índice de estrés térmico de las vacas no aumente y disminuya consecuentemente la productividad. En el periodo estival durante la noche la opción de pastoreo son los verdeos de veranos. El agua para consumo en bebederos está a disposición de los bovinos en diversos sectores del predio. La calidad de la misma cumple con los límites establecidos por el CAA (art. 982).

El tiempo de ordeño de las vacas es de 5 a 7 minutos. El primer paso es el lavado, si la ubre de la vaca posee barro o bosta adherida, situación que ocurre la mayoría de las veces, los pezones son lavados y secados con toallas de papel descartables. El paso siguiente es el despunte u ordeño de los pezones en cortos chorros, comúnmente se realiza sobre un recipiente de color oscuro. Esta etapa resulta ser de suma importancia ya que es el momento en el cual se permite diagnosticar mastitis clínica y a la vez estimular la bajada de la leche. Se produce un estímulo físico a través del tacto, provocando la liberación de la hormona oxitocina que permite la contracción de las células mioepiteliales presentes en el alveolo mamario, facilitando la expulsión de la leche.

El ordeño comienza en el momento que se le coloca las pezoneras en los pezones de las vacas. Las pezoneras cuentan con un sistema de extracción de leche al vacío que impide que se produzcan heridas en los pezones al retirarlas. Una vez concluido el ordeño, se procede a retirar las pezoneras e inmediatamente se les coloca a los pezones un producto sellador yodado para protegerlos y finalmente liberar a la vaca para que continúe pastoreando. Este proceso completo es repetido durante el segundo ordeño del día.

Desde el punto de vista del producto, la leche, el circuito de la misma comienza en las glándulas mamarias de la vaca. La leche sale a 35°C y sigue su recorrido a través del sistema de cañerías que compone la maquinaria de ordeño hasta llegar al tanque de almacenamiento y enfriamiento donde se disminuye la temperatura de la misma hasta alcanzar el valor requerido por el comprador a 4°C. Tal como se mencionó previamente, existe la presencia de una placa de refrescado previa al tanque de almacenamiento. Así como se explica en el capítulo 1, la misma funciona disminuyendo la temperatura de la vaca de 35°C a 23°C. Se considera nulo el consumo de agua generado por el uso de placa de refrescado ya que se reincorpora a la cisterna agua. Sin la placa de refrescado aumentaría el consumo de energía por el tanque de la leche para disminuir la temperatura de 35°C a 2/4°C.

Luego de cada proceso de ordeño se realiza un lavado de las instalaciones y maquinarias de ordeño. Primero se realiza el recambio por ordeño de los filtros previos al tanque, es decir que los mismos se cambian dos veces al día con el fin de brindar una buena calidad del producto y evitar el deterioro de la maquinaria involucrada. La máquina de ordeño se lava luego de cada ordeño, es decir 2 veces al día y gastan aproximadamente 150 litros de agua por lavado. Proceden a un primer enjuague con agua fría a tibia, siguiendo con un lavado con detergente alcalino con agua a 60°C y finalmente un último enjuague con agua fría nuevamente para remover el producto. Una vez por semana se utiliza detergente ácido. El lavado del tanque de almacenamiento se realiza una única vez al día, implica un consumo diario de 150 litros de agua y se utiliza el mismo método de pre enjuague, lavado y enjuague final que la máquina de ordeño. Y con respecto al lavado de los pisos, el mismo es realizado con mangueras a presión durante 18 minutos, dos veces al día luego de cada ordeño. En ocasiones el entrevistado (encargado del tambo) menciona que aprovechan el agua proveniente del lavado del tanque, que posee producto alcalino clorado para desinfectar superficies. En caso de tener complicaciones al momento de remover las bostas, emplean palas y escobas como auxilio.

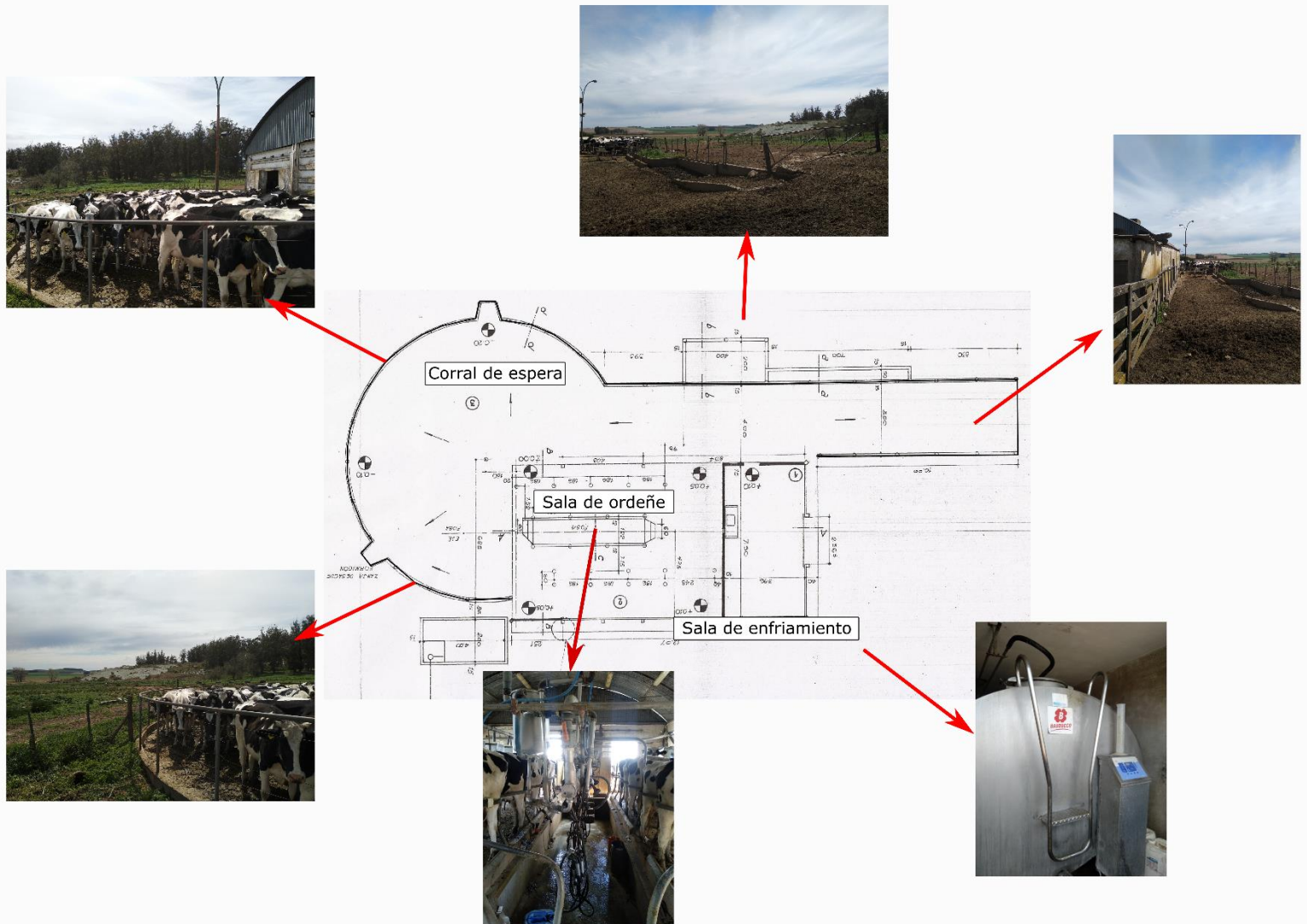


Figura 13. Instalaciones del establecimiento estudiado

4.1.5. Efluentes y residuos generados durante el proceso

Como primera medida para el diseño de un sistema de gestión de efluentes, se necesita cuantificar los caudales de efluentes diarios generados en el tambo y la caracterización de los mismos. En los casos (como el estudiado) en el cual no se cuenta con esa información, se pueden estimar a través de datos obtenidos de bibliografía (ver capítulo 1). A su vez, en esta etapa del estudio se analizan las alternativas disponibles para poder realizar un correcto cálculo de los volúmenes de efluentes generados y así proponer un sistema de tratamiento conveniente. Para los cálculos teóricos de la generación de efluentes del presente caso se utilizó la “Herramienta de Cálculo de Efluentes” propuesta por la Comisión de Lechería de AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola) (Morín et al., 2017), como el instrumento a través del cual se obtienen los datos de efluentes necesarios para llevar a cabo el objetivo principal del presente trabajo.

La herramienta es una planilla de Excel la cual fue desarrollada con la coordinación de AACREA y la participación de distintas instituciones como el INTA, La Serenísimas, DANONE, entre otros. Está diseñada como guía para la selección de tecnologías y ajuste de procedimientos a través de la estimación de volúmenes de efluentes generados, tanto líquidos como sólidos, los costos de su manejo y los beneficios esperables a través de la recuperación de los nutrientes por medio de la aplicación agronómica de los mismos.

La planilla se presenta como una alternativa accesible y confiable a la hora de evaluar los efluentes generados por cada tambo. Comprende distintas hojas en las que el usuario debe completar con datos propios del tambo evaluado y se obtiene una serie de resultados que provienen de ecuaciones desarrolladas por distintos autores, Nennich et al. (2005), Nosetti, Herrero, et al. (2002), entre otros.

En la segunda hoja de la planilla denominada “Datos de entrada” se definen 9 etapas correlativas respecto a los efluentes y su tratamiento. La primera etapa es la “Generación de Estiércol”, los datos de entrada son las cabezas promedio de vacas en ordeño, la producción de leche (L/V.O.día), los días al año que se ordeña y el tiempo sobre pisos (h/día). Al cargar los datos, la planilla arroja de manera automática una serie de resultados: producción de estiércol (kgMF/día), producción de estiércol (m³/año), producción de estiércol (kgMS/año), el nitrógeno excretado (kg/año) y el fósforo excretado (kg/año). Todos estos resultados se calculan en la herramienta a partir de las fórmulas propuestas por Nennich et al. (2005).

Cada uno de los datos de entrada necesarios para el cálculo de las ecuaciones fueron relevados de la entrevista realizada al encargado del tambo. Los resultados de las mismas están expuestos en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de la etapa “Generación de Estiércol” a partir de la herramienta de cálculo

Prod. de estiércol (kgMF/día)	Prod. de estiércol (m³/año)	Prod. de estiércol (kgMS/año)	N excretado (kg/año)	P excretado (kg/año)
494	189	22.630	1.238	202

La siguiente etapa es el cálculo del “Aporte Pluvial”. En la misma se calculan los metros cuadrados de cada superficie cubierta que aportan al efluente, es decir, que cuenten o no con canaletas o algún tipo de desvío del agua pluvial. Esta superficie es obtenida a partir del plano

del tambo, proporcionado para el desarrollo del presente trabajo. Entonces a partir del área mencionada, la Precipitación anual media y la Precipitación anual de diseño (contempla el valor máximo de los últimos 20 años), se obtiene el Aporte pluvial medio y el Aporte pluvial máximo, ambos en m³/año. Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del INTA Balcarce (INTA EEA Balcarce), que corresponden a los registros desde el año 1989 de distintos factores atmosféricos. Por medio de una serie de cálculos, se analizaron los factores precisos para obtener los valores medios requeridos por la herramienta de cálculo. Los resultados alcanzados para el “Aporte Pluvial Medio” y “Aporte Pluvial Máximo” se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados de la etapa “Aporte Pluvial” a partir de la herramienta de cálculo

Aporte Pluvial Medio	121,3 m ³ /año
Aporte Pluvial Máximo	183 m ³ /año

La etapa consecutiva involucrada es el “Lavado de Pisos” donde se presenta la opción de obtener los resultados de manera estimada, la cual comprende los litros de agua por vaca en ordeño. Y la opción medida, la cual obtiene los cálculos a partir del caudal de la manguera utilizada para los lavados y el tiempo, entre otras cosas. A grandes rasgos se clasifica el consumo de agua según los lavados de pisos (la sala de ordeño y el corral de espera), lavado de la máquina de ordeño, de equipo de frío y el agua consumida para el refrescado de la leche, siempre y cuando el tambo cuente con una placa de refrescado. Esta última consideración no es tenida en cuenta en el presente caso debido a la recirculación de agua de la placa de refrescado.

A través de una serie de carga de datos se obtiene los resultados que posteriormente son utilizados en una nueva etapa llamada “Volumen Anual de Efluente Líquido Primario”. Los mismos difieren si se exportan los resultados alcanzados de la opción “Estimativo” o “Medido”. En esta instancia se incorporan los resultados provenientes de la primera etapa de la herramienta de cálculo, es decir, las excretas generadas.

Debido a que se contó con la información, se utilizaron los resultados de la opción “Medido”, ya que proporciona una estimación más precisa. El caudal de la manguera utilizada para el lavado de pisos es de 6.545 litros/hora. Teniendo en cuenta que se realizan 2 lavados diarios de 18 minutos cada uno, el consumo total sería 3.930 litros o 3,9 m³/día. De esta forma, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 10 y en la figura 14.

Tabla 10. Resultados de la etapa “Volumen Anual de Efluente Líquido Primario” a partir de la herramienta de cálculo

Volumen Anual de Efluente Líquido Primario	m ³ /año	m ³ /año máx	L/día	L/V.O.día	Valores Objetivos (L/V.O.día)
Estiércol	189	189	494	5,5	5,5
Agua de Lluvia	121	183	332	3,7	0
Agua de Lavado de Pisos	1.433	1.433	3.927	43,6	18,0
Lavado de Máquina de ordeño y Equipo de Frío	165	165	451	5,0	5,0
Total	1.908	1.970	5.204	57,8	

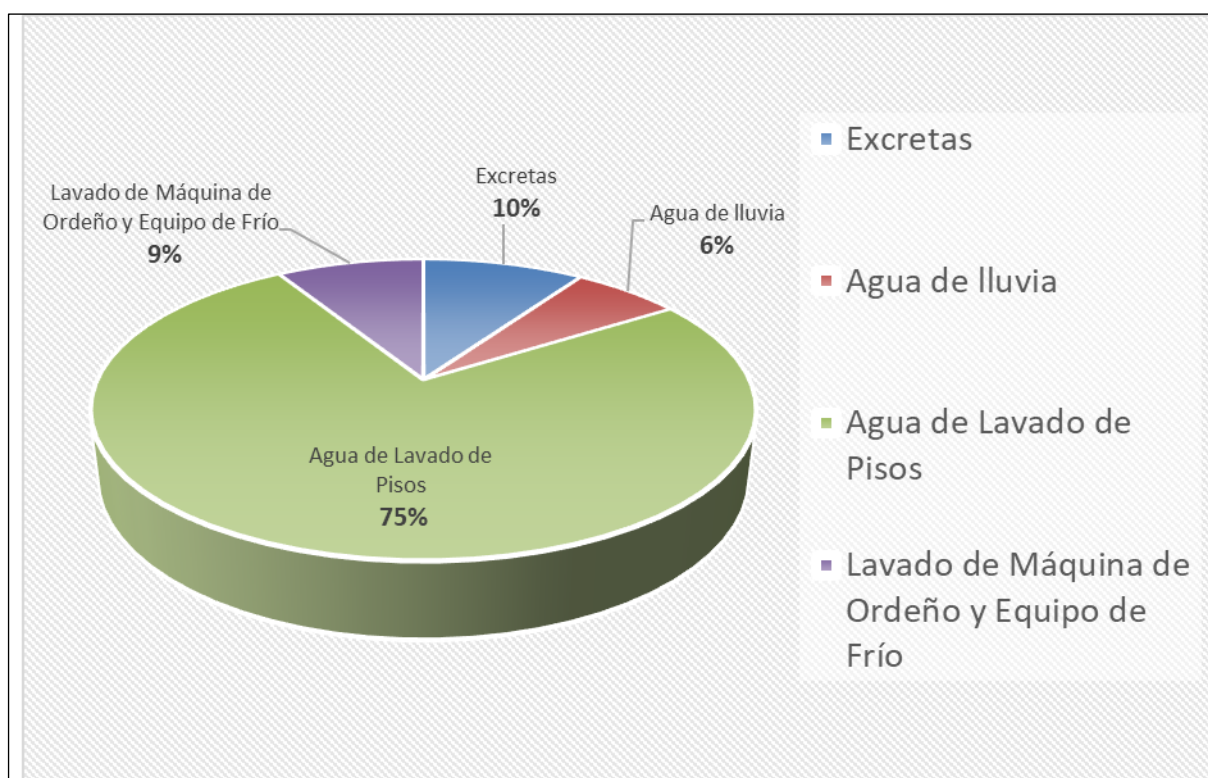


Figura 14. Gráfico de Volumen de Efluentes Generado (L/día)

De esta manera, se obtiene la cantidad de efluente sin considerar su composición. Para proponer un sistema de tratamiento de manera criteriosa, se necesitan valores de referencia de caracterización del efluente proveniente de la actividad tambera. En este caso se recurrió a la bibliografía. En líneas generales, según varias investigaciones realizadas por Karina García (2008, 2015, 2015b) se concluye que los efluentes de los tambos presentan una relación DBO_5/DQO mayor a 0,4, lo que representa un efluente altamente biodegradable.

Por otro lado, las cargas de nutrientes deben ser suficientes para que el agua residual pueda depurarse. En estos casos la relación $DQO/N/P$ recomendada según Muñoz, Lehmann, &

Martínez (1996) es 100/5/1. Realizando los cálculos correspondientes se obtiene que las concentraciones de N y P son aptas en relación al DQO considerado.

Las etapas consecutivas, si bien son fundamentales para obtener un cierre con respecto al sistema de tratamiento, no fueron esenciales para desarrollar la propuesta. A modo de resumen las cinco etapas restantes que presenta la herramienta son: “Diseño de Lagunas” (etapa 5), “Aplicación de Líquidos” (etapa 6), “Separación de Sólidos” (etapa 7), “Aplicación de Sólidos” (etapa 8) y “Aportes de Nutrientes” (etapa 9). “Diseño de Lagunas” es la fase en la que se presentan las dimensiones de esta unidad de tratamiento. Posee tres opciones diferentes: “cargar dimensiones manualmente”, “dimensionar en función del tiempo de almacenamiento” y “dimensionar para reutilización (INTA Rafaela)”. Debido a que no fue permitido deducir de dónde provenían esos valores, se optó por cargar las dimensiones manualmente, a partir de las fórmulas desarrolladas en la sección 4.2.1.3.

A continuación, las etapas 6, 7 y 8 arrojan resultados que no son utilizados en el presente trabajo, debido a la inconsistencia de los valores. La herramienta fue realizada considerando o no una separación de sólidos, pero solo admite la opción de un tamiz estático para esta unidad de tratamiento, con su propia eficiencia y valores. Tal como se explica en la siguiente unidad, se propone un estercolero para la separación de sólidos, por lo que los valores indicados en la etapa 7 y 8 de la herramienta, no son representativos. En la etapa 6, se aplica una corrección por balance hídrico a la cantidad de efluente generado en un año, que ya fue tenida en cuenta previamente, por tal motivo se desestima dicha etapa. La etapa final de la herramienta señala, a partir de valores obtenidos de la primera etapa, el aporte de nutrientes que proviene del aprovechamiento de las excretas. Este aprovechamiento es indicado posteriormente en la tabla 14.

4.2. Propuesta

Luego de haber desarrollado los puntos más importantes a tener en cuenta en la gestión de los efluentes de tambos, en este apartado, se plantea la propuesta para el sistema de tratamiento y se proponen medidas para prevenir la contaminación a causa de esta actividad.

En las siguientes secciones, se desarrollan los métodos elegidos para tratar el efluente. Se caracteriza en forma detallada las dimensiones de cada unidad, el mantenimiento, operación y la comparación de dichas características, basadas en la teoría por un lado y en las consultas realizadas a distintos profesionales.

Al momento de recabar la información disponible respecto a la presente problemática, se encontró con una gran variedad de opciones y tecnologías en relación a las dimensiones del tambo, la cantidad de vacas en ordeño, las condiciones climáticas y topográficas de la zona, la posibilidad de realizar grandes inversiones, entre otras. Una vez estudiada la situación actual del caso de estudio, se intentó encontrar aquella opción que efectivamente pueda ser llevada a cabo en el tambo, de acuerdo a las posibilidades técnicas y económicas del mismo.

Esta aclaración es necesaria debido a que uno de los inconvenientes que se presentó al momento de diseñar la propuesta de tratamiento, fue la inconsistencia de los valores obtenidos a partir de los cálculos de diseño, con la realidad económica y productiva del tambo. Esta dificultad fue sorteada a través de una serie de consultas a distintos profesionales idóneos en el

tema, en particular las recomendaciones claras y precisas por parte del Ingeniero José Strauss, quien se desempeña en el campo de tratamiento de efluentes líquidos desde hace más de 30 años. El aporte del Ingeniero Strauss fue clave al momento de finalizar los cálculos de diseño ya que, como se explicará a continuación, se logró encontrar un equilibrio entre la teoría detallada en los capítulos anteriores y la realidad del caso de estudio.

4.2.1. Tratamiento de efluentes líquidos

El primer dato a tener en cuenta, obtenido a partir de la herramienta de cálculo, es el volumen diario de efluente generado en el tambo. El mismo es de aproximadamente 5 m³ diarios y partiendo de su composición se desprende que 3,9 m³ corresponden al lavado de pisos. Si bien el valor obtenido de la tabla 10 son 5.204 litros/día, luego de una corrección en el aporte del agua de lluvia, se obtuvo un total de 5.373 litros/día máximo. Esto proviene de considerar 183 m³/año máximo que corresponde al aporte pluvial máximo. Entonces se tienen en cuenta un total de 5,4 m³/día de efluente.

De la totalidad de las excretas, 12,5% corresponden a materia seca (2,4% del efluente total). Esto se traduce en una generación diaria de 5,5 kilogramos de estiércol por vaca en ordeño, de los cuales 0,7 kilogramos resultan en materia seca (MS). Si bien este cálculo es realizado a partir de la bibliografía consultada (Nennich et al., 2005), la estimación real de estiércol generado según la observación diaria de los operarios del tambo, es de un máximo aproximado de 50 kg diarios. Pese a que se tuvo en cuenta este último valor, los cálculos fueron realizados en base a los datos teóricos propuestos por Nennich et al. (2005). Por lo tanto, se considera relevante inicialmente reforzar la limpieza diaria de los pisos, luego de cada rutina de ordeño a través del paleo manual del estiércol, práctica que llevan a cabo actualmente en las instalaciones.

Es sumamente importante planificar, al momento de plantear un sistema de tratamiento, el destino final que se le desea dar al efluente, ya que de esa forma la gestión de los mismos tomaría rumbos distintos dependiendo de dicha consideración. En este caso, se consideró oportuno aprovechar el efluente líquido tratado para riego de las parcelas del predio, otorgándole a los cultivos un suministro de agua rico en nutrientes. A su vez, se contempló otro subproducto de la actividad tampera, como lo son los sólidos obtenidos a partir del tratamiento físico, para utilizarlos como fertilizante. De esta forma, el tratamiento propuesto para el caso de estudio consta de una serie de etapas que se describen a continuación y están esquematizadas en la figura 15, incluidos los subproductos mencionados:

- Construir una red de tuberías que recoja el agua residual, comenzando la recolección en el corral de espera.
- Construir un sistema para la retención de sólidos, que iniciaría con una cámara de retención de sólidos y seguiría por gravedad hacia un estercolero.
- Construir un playón de secado para sólidos, en el cual se acumularían y almacenarían por un tiempo determinado antes de su utilización.
- Construir un sistema de tratamiento consistente en una laguna anaeróbica y una laguna facultativa en serie.

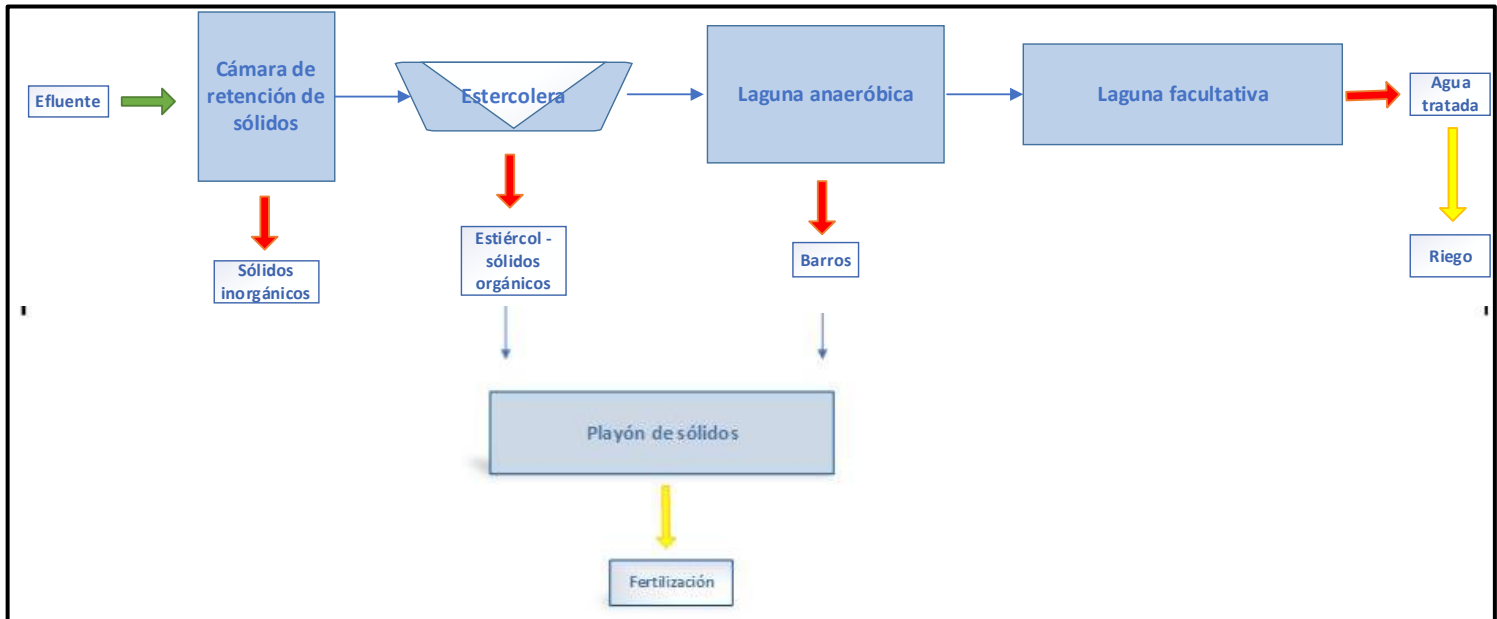


Figura 15. Sistema de tratamiento planteado

A modo esclarecedor, debido a que no se cuenta con valores exactos, tanto de caudales como de parámetros físico-químicos y bacteriológicos, las dimensiones de las unidades de tratamiento serán redondeadas y las remociones de los componentes más significativos serán estimadas en base a las eficiencias indicadas en cada instancia de tratamiento. Con respecto a las concentraciones de los parámetros relevantes a corregir, se tomó dentro de la tabla 2, los valores máximos correspondientes a los indicados por García (2015).

El tratamiento inicia con una separación de sólidos en la que decantan los sólidos de gran tamaño y se intenta enviar la menor cantidad posible de estiércol a la siguiente unidad de tratamiento que son las lagunas de estabilización (figura 15). La existencia y correcto funcionamiento del sistema de retención de sólidos es indispensable para lograr un buen tratamiento del efluente de tambo. Si el sistema de retención de sólidos no existiera o no estuviese funcionando correctamente, pueden generarse problemas de obstrucciones en las conducciones o colmatarse rápidamente las lagunas.

En este punto, además de considerarse los factores naturales como la pendiente y topografía del lugar de emplazamiento, la textura del suelo, la profundidad de las napas freáticas y de la zona no saturada del suelo, se mantuvo siempre en consideración la importancia de lograr efectivamente una propuesta acorde a las posibilidades técnicas y económicas del tambo en estudio. Pese a que se tuvieron en cuenta los aspectos geológicos mencionados en el párrafo anterior, no fueron realizados estudios precisos en la posible zona de emplazamiento de las unidades de tratamiento, debido a la falta de recursos, humanos y económicos para llevar a cabo dicha labor. Es por eso que, si bien la elección del sistema de tratamientos sienta sus bases, entre otros factores, en la comprensión e interpretación de mapas e imágenes satelitales, así como también en la utilización de herramientas disponibles del Google Earth Pro, se considera relevante remarcar la necesidad de efectuar estudios más específicos en el futuro para una gestión más ajustada.

De acuerdo a los factores físicos característicos de la zona de estudio (ver 4.1.1), la textura del suelo es franco limosa. Este tipo de texturas posee una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla y supone un equilibrio entre la permeabilidad al agua y retención de agua y nutrientes. En suelos con este tipo de texturas, es necesario contemplar la posibilidad de la existencia de un manto rocoso por debajo del suelo donde está ubicado el tambo.

A su vez, el flujo subterráneo tiene una dirección SO-NE, por lo que se determina que la zona estudiada es considerada una zona de descarga, entonces no implicaría inconvenientes con respecto al movimiento de contaminantes que alteren potencialmente la calidad del agua subterránea (dato obtenido de Massone et al., 2005). Pese a que no es una zona de recarga y que el tambo se encuentra ubicado entre las isopiezas 100 y 105 msnm, la zona no saturada presenta un espesor aproximado de 5 metros, lo que denota la relevancia de una buena impermeabilización debido a la cercanía al acuífero.

Otro punto que fue considerado para la elección del tratamiento, es la pendiente topográfica. Si bien en el Atlas digital del Partido de Balcarce (Tomas et al., 2005) se menciona la topografía característica de la zona, a través del Google Earth Pro se logró interpretar el perfil de elevación en el cual se expone una pendiente promedio de 5% para la zona estudiada.

Para que el proceso de depuración biológica tenga lugar, además de la biodegradabilidad del efluente, es necesario que otros parámetros estén dentro de los niveles permisibles. Entre ellos se encuentran la temperatura, la cual debe oscilar entre los 12 y 40 °C, el pH que debe pertenecer a un rango entre 6,5-8,5 (Metcalf & Eddy, 1995) y la cantidad mínima de nutrientes, entre otros. Dado las características del efluente estudiado coinciden con los requerimientos mencionados, se determina conveniente proceder con este sistema de tratamiento.

4.2.1.1. Cámara de retención de sólidos

Se propone, en primer lugar, una cámara de retención de sólidos (figura 16). Esta unidad cumple la función de retener sólidos inorgánicos (como arenas, pedregullo, etc.) para evitar obstrucciones, asegurando la llegada del líquido hacia las unidades de retención de sólidos posteriores. En este caso se respetan las dimensiones mínimas convenientes según MVOTMA, DINAMA, & CONAPROLE (2008), de 0,60 m x 0,60 m, una pendiente mayor a 2% y un diámetro de tubería de al menos 160/200 mm, para asegurar que la limpieza pueda realizarse sin grandes dificultades. La misma debe realizarse al menos dos veces por semana (deseablemente no más allá de día por medio), o cuando el nivel de sólidos está a unos 10 cm por debajo de la tubería de salida, lo que ocurra primero. De todos modos, se debe mantener siempre limpia la rejilla de la zona superior para evitar el mal funcionamiento. El elemento adecuado para la limpieza de esta unidad es una pala tipo cucharón, con orificios para que el agua escurra y se puedan remover los sólidos con facilidad.



Figura 16. Cámara de retención de sólidos

Fuente: MVOTMA et al. (2008)

De acuerdo a los autores citados en el párrafo anterior, debería dimensionarse la cámara de retención de sólidos en función del caudal circulante que, normalmente, no depende del número de vacas en ordeño sino del caudal de lavado, o sea, de las características de la manguera o dispositivo que se emplee para realizar la tarea. Pero como estos caudales son tan pequeños (del orden de 9 L/min), el criterio de diseño es funcional: se adoptan dimensiones que permitan asegurar la limpieza de la unidad, procurando a la vez que ésta resulte lo más pequeña posible dentro de lo razonable.

En cuanto a la profundidad, se evitará que la cámara sea innecesariamente profunda: cuanto menos profunda sea, menos estiércol retendrá y en consecuencia su funcionamiento se adaptará mejor al fin que se persigue (retención de sólidos inorgánicos pero pasaje de sólidos orgánicos). Una profundidad útil habitual, que además resulta un valor razonable desde los puntos de vista constructivo y de operación y mantenimiento, es de 0,30 m. La cámara de retención de sólidos entonces se prevé sea de 0,60 x 0,60 m de sección y profundidad útil 0,3 m (figura 17). Se designa como profundidad útil la distancia entre el fondo de la cámara y la cota de zampeado de la tubería de salida. Y se logra una retención no menor al 80 % de las arenas con una granulometría de 0,25 mm o mayor.

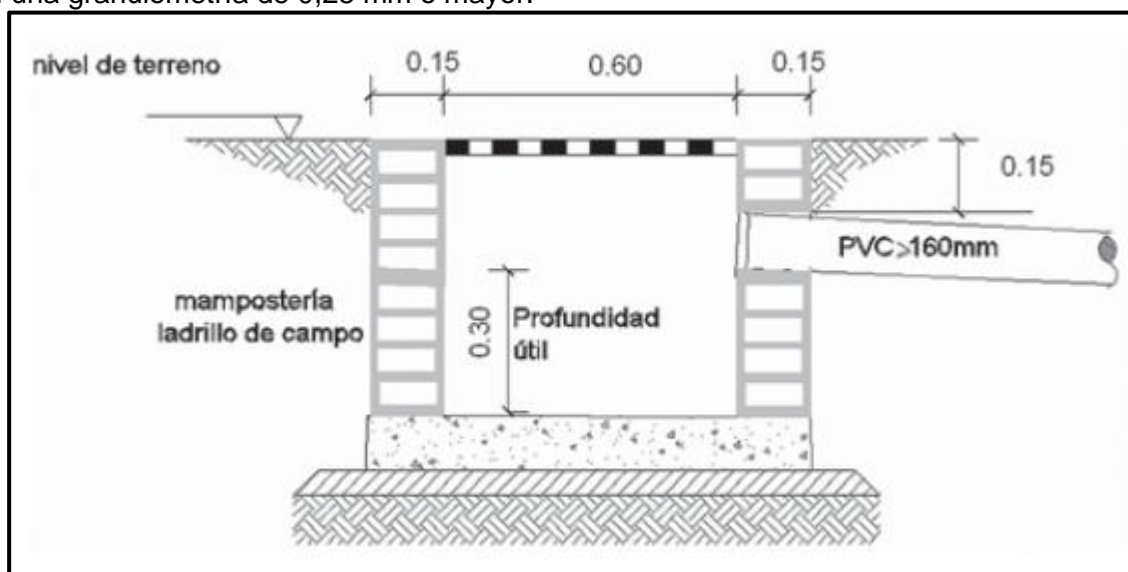


Figura 17. Dimensiones en metros de la cámara de retención de sólidos

Fuente: MVOTMA et al. (2008)

4.2.1.2. Estercolero y playón de sólidos

Inmediatamente a continuación de la cámara de retención de sólidos iniciaría la separación de sólidos a partir de un estercolero, las cuáles según MVOTMA et al. (2008), presentan una eficiencia de remoción de estiércol del 70% y de materia orgánica del orden de 25% a 40% en DBO₅. En este caso se toma en consideración la frecuencia de limpieza (manual), una pendiente de 30% y el ancho necesario. En el esquema de la figura 18 se identifican cada una de las longitudes y, las dimensiones de las mismas se calculan a partir de las fórmulas [1] y [2].

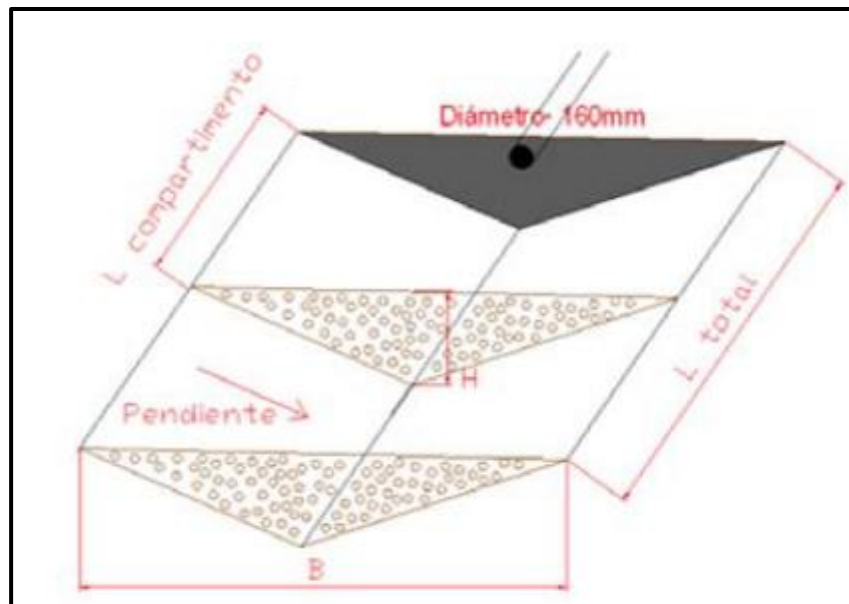


Figura 18. Esquema de estercolero
Fuente: MVOTMA et al. (2008)

Siendo:

- B ancho de la trampa ($B = 2 * H / 30\%$ si se supone una pendiente de fondo del 30 %)
- L total, largo en el sentido del flujo
- H profundidad máxima

$$V_{\text{estercolero}} (m^3) = (a + b) \times N^{\circ} \text{ días}_{\text{entre limpiezas}} \quad [1]$$

$$a = \frac{\eta_{\text{estercolero}} \times N^{\circ} \text{ vacas} \times Kg \text{ bosta vaca/día}}{1000}$$

$$b = 0,30 \times \text{Volumen}_{\text{agua}} (L/ \text{ día}) / 1000$$

Siendo η la eficiencia.

$$V_{\text{estercolero}} (m^3) = \left(\frac{0,7 \times 90 \times 5,5}{1000} + 0,30 \times \frac{5400}{1000} \right) \times 2 \quad [1]$$

$$V_{\text{estercolero}} = 3,9 m^3 = 4,2 m^3$$

$$V_{\text{estercolero}} (m^3) = \frac{B \times H \times L_{\text{compartimento}}}{2} \times N^{\circ} \text{divisiones} \quad [2]$$

$$V_{\text{estercolero}} (m^3) = \frac{B \times H \times L_{\text{total}}}{2} = \frac{H^2 \times L_{\text{total}}}{0,30}$$

Se fija **H = 0,6 m** y resultan los siguientes valores:

$$4,2 = \frac{0,60^2 \times L_{\text{total}}}{0,30} \quad [2]$$

$$L_{\text{total}} = 3,5 \text{ m}$$

$$B = \frac{2 \times 0,60}{0,30}$$

$$B = 4 \text{ m}$$

En la figura 19 se representa a través de un esquema las dimensiones calculadas. El volumen de 4,2 m³ fue redondeado con el objetivo que las longitudes sean números enteros. El estercolero retiene parte del estiércol generado en el tambo. El residuo retenido se escurre a través de la pared de ladrillo (rejilla) o de madera perforada, y el líquido sobrenadante es conducido hacia las otras unidades del sistema de tratamiento. En general la unidad retiene más sólidos cuando está parcialmente llena, pues el propio residuo actúa como filtro. La limpieza, en este caso, debería tener una frecuencia diaria o día por medio y debe realizarse en los horarios en que no se esté recibiendo caudal. Luego de retirado el residuo acumulado, se debe dejar escurriendo durante algunas horas para luego ser trasladado hacia la zona de disposición prefijada. Para dejar el material escurriendo, se propone la construcción de una zona contigua al estercolero con pendiente hacia él, de forma de evitar el escurrimiento de los lixiviados de forma arbitraria (figura 20).

Se sugiere que el playón de sólidos sea de hormigón y debería tener una dimensión de 9 x 5 x 2 m de espesor. Estas dimensiones son realizadas a partir de la consideración que la remoción de estiércol del estercolero, es de un 70%. Por lo que diariamente de 494 kg o litros de estiércol generado, en el playón de sólidos son depositados 345,8 l, y teniendo en cuenta un período máximo de maduración de 6 meses, se acumularían 63.108 l, es decir 63 m³. Por lo que el volumen mínimo necesario para almacenar el estiércol generado sería ese valor. Una vez que se acumule suficiente cantidad, la materia orgánica se mueve unos pocos metros para compostar naturalmente y lograr un sólido estabilizado. Se pretende lograr un “abono controlado”, analizando el resultado final para determinar el contenido de minerales y ajustar la dosis al requerimiento de los lotes en donde se aplique. El apilado duraría, de acuerdo a la época de año, entre 3 y 6 meses hasta que esté maduro y pueda ser dispuesto en el terreno. Se deberían incorporar a la mezcla restos de fardos, podas de árboles, etc., para enriquecer la calidad del apilado. La mezcla resulta un paso importante del proceso para que el producto final sea homogéneo y la descomposición se produzca en toda la pila y no por sectores.

Para su aplicación al campo, se deberían utilizar remolques o zorras que tienen un piso móvil, activados por dos o tres cadenas que son movidas por la toma de fuerza del tractor. La función de ese piso móvil sería el traslado del estiércol a los dispersores que también son movidos por la toma de fuerza y cuya función es desparramar lo más homogéneamente el estiércol cuando se aplica en el campo. Según la Guía de Buenas Prácticas para la Gestión de

Purines en Tambo (Cañada, Herrero, Dejtiar, & Vankeirsbilck, 2018), contemplando un tamaño suficiente del playón, que asegure la llegada de la radiación solar a una mayor superficie, sería suficiente para disminuir la carga de patógenos y el contenido de agua.

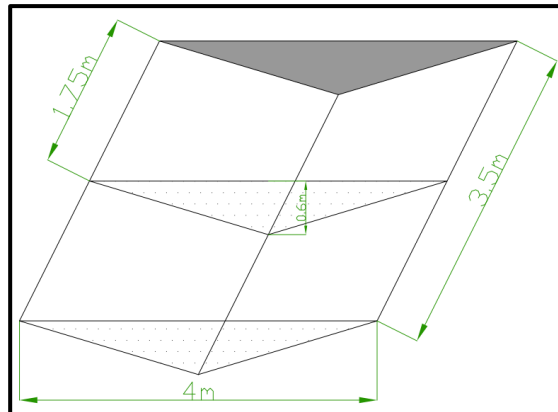


Figura 19. Esquema estercolero

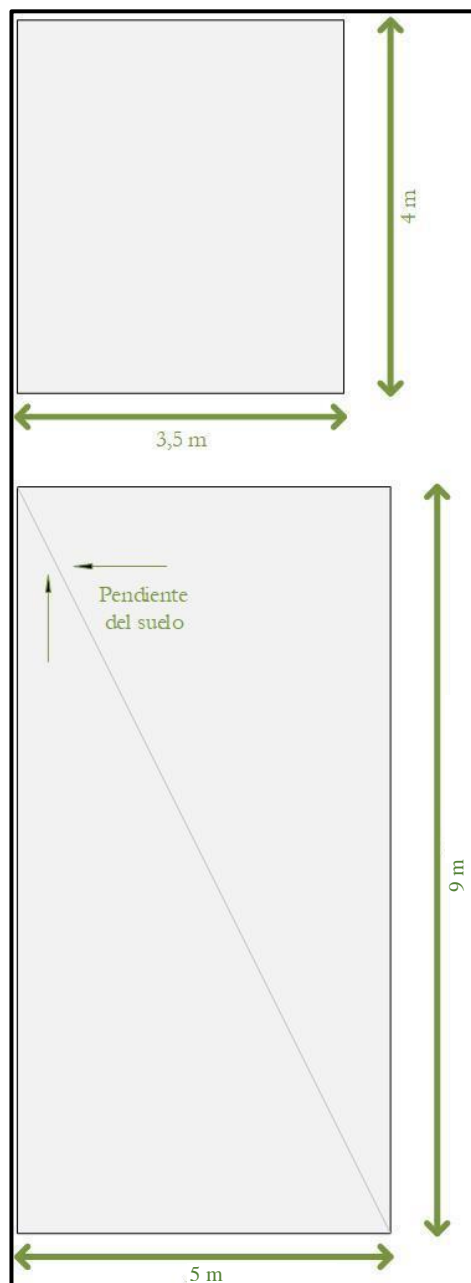


Figura 20. Esquema estercolero y playón de sólidos

En la tabla 11 se exponen las dimensiones correspondientes al estercolero propuesto para el presente caso de estudio.

Tabla 11. Dimensiones estercolero (limpieza manual), pendiente de fondo 30%.

Nº de vacas en ordeño	90
Caudal del efluente (m ³ /día)	5,4
Carga generada por vaca por día (kg/VO/día)	5,5
Eficiencia del estercolero (%)	70
Volumen retenido de excretas (m ³ /día)	0,346
Volumen retenido de excretas (m ³ /semana)	2,425
Volumen de una semana de efluente (m ³ /semana)	38,5
Volumen necesario del estercolero (m ³)	3,9
Largo de cada compartimento (m)	1,75
Cantidad de compartimentos	2
Largo total del estercolero (2 * largo de cada compartimento)	3,5
Pendiente de fondo (%)	30
Ancho del canal en la superficie (m)	4
Altura en la zona más profunda (m)	0,60
Volumen del estercolero (m ³)	4,2

Esta primera etapa de tratamiento físico se busca la reducción del contenido de sólidos en el efluente líquido, con la consecuente disminución de la carga orgánica presente (lo que mejoraría la eficiencia de tratamiento de las lagunas) y los sólidos pueden ser utilizados como enmiendas, mejorando la estructura y materia orgánica de los suelos utilizados para la producción de pasturas. Logrando de esta forma disminuir la cantidad de efluentes en las lagunas. La concentración de DBO₅ que se supone a la entrada del estercolero es 3200 mg/litro (ver tabla 2).

Profesionales del Grupo Calidad de Leche y Agroindustria del INTA Rafaela destacan las bondades nutricionales de los efluentes y el beneficio ambiental del sistema. Donde indican que la aplicación de este material no sólo modifica las propiedades químicas del suelo, sino que además se incorpora materia orgánica, combinando propiedades físicas.

A partir de las eficiencias globales de remoción indicadas por MVOTMA, DINAMA, & CONAPROLE (2008), que coinciden con las mencionadas por Hernández, Benítez, & Benzano (2018), se presenta la tabla 12 en la que se resume el comportamiento de los parámetros más significativos del efluente, a la entrada y salida del estercolero.

Tabla 12. Eficiencias globales de remoción para cada parámetro a la entrada y salida del estercolero.

	Sólidos Sedimentables 2 hs (ml/l)	DBO ₅ (mg/l)	P (mg/l)	N (mg/l)
Entrada	107,2	3200	80	410
Salida	32,16	2240	68	405,5
Eficiencia	70 %	30 %	15 %	1,1 %

Pese a que durante el tratamiento físico que se realiza en el estercolero ocurre una reducción importante de la carga orgánica (25% - 40%), igualmente el efluente sigue presentando una concentración elevada de materia orgánica (2400 - 1920 mg/litro DBO₅). Se considera un valor intermedio de reducción de carga orgánica del 30%.

4.2.1.3. Laguna anaeróbica

Como se explicó en la sección 2.1.2., las lagunas de estabilización son un método de tratamiento secundario en el que se involucran a las bacterias como principales actores al momento de mejorar la calidad del efluente. Las lagunas, que pueden ser anaeróbicas, facultativas o aeróbicas, se presentan como una alternativa viable en esta ocasión debido a una serie de factores que conducen a la conclusión mencionada previamente. Inicialmente, no implica un costo de inversión demasiado alto en comparación con otros métodos. El factor limitante de este tipo de tratamientos es la disponibilidad de extensiones de tierra adecuadas, situación que no generaría inconvenientes debido a la superficie con la que se cuenta. Por otro lado, estos sistemas aportan simplicidad de operación ya que no requieren mano de obra especializada y tienen bajos requerimientos de mantenimiento. Sistemas más complejos que requieran mayor precisión en las estructuras de sus unidades, pueden llevar a que estas unidades no operen correctamente por defectos constructivos o mayor complejidad de operación y mantenimiento, como fuera detectado en el relevamiento realizado.

Al momento de desarrollar el proceso de diseño de las lagunas, se evaluaron distintos métodos, descartando aquellos que se consideraron poco apropiados para el caso de estudio. Finalmente, la propuesta se centró en el análisis de las fórmulas propuestas por una serie de autores, tales como Mara & Pearson (1987) y los ejemplos específicos de tambos de Uruguay descritos por MVOTMA et al. (2008). Los cálculos desarrollados para las lagunas anaeróbicas, sientan sus bases en dos conceptos muy importantes, la carga orgánica volumétrica (λ_v) y el tiempo de residencia hidráulico o tiempo de retención del líquido a tratar. La relación entre estas dos variables se expresa en la ecuación [3]. La carga orgánica volumétrica, según la extensa bibliografía consultada, se encuentra entre los valores de 100 a 600 gramos DBO/m³.día. Y el tiempo de retención recomendado para las lagunas anaeróbicas se estima entre 2 a 6 días, ya que tiempos de residencia superiores provocan un rápido deterioro de la calidad del efluente.

El diseño de la laguna debe considerar un valor máximo de carga de DBO, según la siguiente ecuación propuesta por Mara & Pearson (1987):

$$\lambda v = \frac{Li \times Q}{v} = \frac{Li}{t} \quad [3]$$

λv = carga volumétrica diaria de DBO ($\text{g/m}^3 \cdot \text{día}$)

Li = DBO último del efluente a la laguna (mg/l o g/m^3)

Q = caudal de diseño de la laguna ($\text{m}^3/\text{día}$)

v = volumen calculado de la laguna anaeróbica (m^3)

t = tiempo de retención de la laguna (días)

Sumado a estas consideraciones, se evaluó la posibilidad de determinar un volumen de laguna anaeróbica que contempla el volumen total de lodo generado a través del tiempo. A causa de las sugerencias realizadas por el Ingeniero Strauss, se determinó que resultaría prescindible ese volumen remanente, ya que los posibles barros generados, lo harían luego de varios meses de iniciado el funcionamiento de las lagunas, y a su vez, esa cantidad traducido a la realidad práctica, sería mínima. Los sólidos que no se descomponen y finalmente terminan decantando y acumulándose, son los sólidos inertes, clase de sólidos ausente dentro del efluente estudiado. Otro motivo adicional considerado al momento de determinar las dimensiones de esta unidad de tratamiento fue que, en caso de colmatarse la laguna con barros, o cuando los mismos ocupen 2 metros de altura en la laguna (Pittamiglio, 2004), se dispondría de un mecanismo de purga, capaz de vaciar de manera gradual dichos sólidos, sin la necesidad incluso de requerir una segunda laguna utilizable en períodos de limpieza que operaría de manera paralela.

Pese a que resultó prescindible el volumen teórico de lodos generados obtenidos, por sus valores desmedidos, se optó por considerar un cálculo más sencillo en el que se contemplan los 32,16 ml/l de sólidos sedimentables, remanentes de la unidad de tratamiento anterior, traducidos en 32,16 l/m^3 . Si el caudal del efluente es 5,4 m^3 diarios, se estiman 173,6 litros diarios, es decir 0,17 m^3 diarios de sólidos sedimentables. Para los cálculos de dimensionamiento de la laguna, el factor determinante fue el tiempo de retención, el cual fue considerado de 6 días. Entonces en esos 6 días de retención, se generarían cerca de 1 m^3 de sólidos sedimentables. En base a las consideraciones ya mencionadas, a partir de la ecuación [4], se obtuvo el volumen de la laguna.

$$V = Q \times t \quad [4]$$

$$V = 5,4 \times 6 = 32,4 \text{ m}^3$$

Asumiendo una profundidad de 4 metros, suficiente y condicionante para que se lleve a cabo la actividad anaeróbica, las dimensiones propuestas serían 3 x 2,75 x 4 m y se propone una pendiente de los taludes internos de 30%, competente para contemplar la acumulación de barros en un extremo y facilitar su extracción y posterior descarga en el playón de secado cuando sea necesario. Asimismo, se considera necesaria una impermeabilización de la laguna, por un lado, debido a las características edáficas de la zona y por la escasa profundidad a la que se encuentra la napa freática. De esta forma, se cumple con los dos factores limitantes a la hora de dimensionar una laguna anaeróbica, presentando un tiempo de retención de 6 días y obteniendo, según la ecuación [3], una carga orgánica volumétrica acorde al rango sugerido, aproximadamente 530 gramos DBO/ $\text{m}^3 \cdot \text{día}$. Si bien el m^3 de los sólidos sedimentables generados adicional es un factor a tener en cuenta, dicho volumen se ve contemplado al momento de una pequeña sobredimensión de la laguna, por lo que no se realizan ajustes en función de los

mismos. De todas formas, se recuerda la aclaración mencionada en párrafos anteriores donde se considera que en la práctica real, la acumulación de lodos, si bien no es un factor concluyente para dimensionar las unidades de tratamiento en el presente caso de estudio, no deja de ser un componente a tenerse en cuenta en su totalidad. En base a lo sugerido por el profesional experimentado consultado, es sumamente importante manejar la acumulación de lodos en función del uso real de los mismos, no desvirtuando el tratamiento, como sucedería si se exagera el dimensionamiento de las unidades por considerar los volúmenes teóricos de lodos generados.

Se remarca la importancia de no sólo un buen mantenimiento del estercolero, sino también inicialmente una buena limpieza en seco del corral de espera. Es decir, seguir implementando la rutina actual del tambo del paleo manual del estiércol depositado en las instalaciones, aprovechando en este caso, el playón de almacenamiento de sólidos. De esta forma, una vez puesto en marcha el sistema, se debe evaluar la periodicidad con la que se debe retirar lodos de las lagunas a través del mecanismo de desagote mencionado en párrafos anteriores. En dicho momento, se recomienda retirar la mitad de la cantidad total del barro, de manera tal de no desactivar la actividad bacteriana de la laguna. A su vez, en este caso los sólidos sedimentables remanentes de la unidad de tratamiento anterior, serán retenidos y degradados en el fondo de la laguna, por lo que se alcanzarían los valores requeridos por la normativa.

Al buscarse los métodos más sencillos para emplear en todo el sistema, uno de los mecanismos de desagüe recomendado sería, como se mencionó previamente, a través de una pendiente interna de la laguna, que recolecta los barros generados a través de una bomba de aspiración, similar a la utilizada por los camiones atmosféricos. El barro retirado puede ser dispuesto en el playón de sólidos contiguo al estercolero. En la tabla 13 se exponen las dimensiones correspondientes a la laguna anaeróbica y en la figura 21 se representa a través de un esquema.

Tabla 13. Características consideradas y dimensiones laguna anaeróbica.

Nº de vacas en ordeño	90
Caudal del efluente (m ³ /día)	5,4
Sistema de retención de sólidos	SI
Eficiencia de remoción de estiércol del sistema de retención de sólidos (%)	70
Eficiencia de remoción de DBO ₅ del sistema de retención de sólidos (%)	30
Concentración DBO ₅ entrante (mg/l)	2240
Tiempo de retención (días)	6
Volumen total de la laguna (m ³)	32,4
Profundidad (m)	4
Largo (m)	3
Ancho (m)	2,75
Eficiencia de remoción de materia orgánica como DBO ₅ de la laguna anaeróbica (%)	60
Concentración DBO ₅ saliente (mg/l)	896

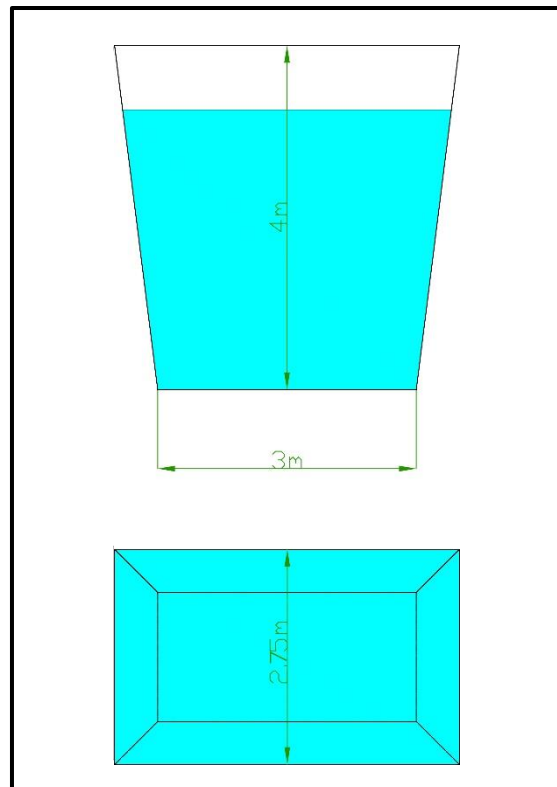


Figura 21. Esquema laguna anaeróbica

En la tabla 14, se indican las eficiencias globales de remoción del DBO₅, obtenidas de MVOTMA, DINAMA, & CONAPROLE (2008), y complementados los demás parámetros con las eficiencias estudiadas por Gutierrez & Cabrera (2004) a la entrada y salida de la laguna anaeróbica.

Tabla 14. Eficiencias globales de remoción para cada parámetro a la entrada y salida de la laguna anaeróbica.

	DBO ₅ (mg/l)	Sólidos Sedimentables 2 hs (ml/l)	P (mg/l)	N (mg/l)	Coliformes fecales (NMP/100 ml)
Entrada	2240	32,16	68	405,5	6,1x10 ⁶
Salida	896	0	57,8	194,64	6,1x10 ⁵
Eficiencia	60 %	100 %	15 %	52 %	Un orden

4.2.1.4. Laguna facultativa

Tal como se muestra en la Tabla 12, si bien se alcanza un valor de DBO₅ mucho menor que el inicial, el mismo no es suficiente para cumplir con la normativa vigente, que establece, entre otros parámetros, un valor máximo de 200 mg/l de DBO₅ para absorción al suelo, que sería el destino final del efluente. De esta manera, se presenta la necesidad de una nueva unidad de tratamiento, una laguna facultativa.

Inicialmente, se optó por realizar los cálculos de diseño a partir del método basado en la carga orgánica superficial (λ_s) combinado con la ecuación de Marais (Menéndez Gutiérrez & Díaz Marrero, 2006). El mismo contempla la carga orgánica superficial con que se desea que trabaje la laguna y a partir de la misma, obtiene las dimensiones requeridas (ecuación [6]). La carga orgánica superficial es determinada por las ecuaciones de diseño desarrolladas por Mara & Pearson (1987) (ecuación [5]). Otro factor que tiene en cuenta el método es la constante cinética del sistema, obtenida de los estudios propuestos por Marais (1974), a partir de la cual se logra estimar la eficiencia de remoción que puede esperarse del sistema diseñado (ecuación [9]).

$$\lambda_s = 10 T \quad (kg \ ha^{-1}d^{-1}) \quad Para \ 10 < T < 20 \quad [5]$$

T = temperatura media anual

Considerando 14°C como la temperatura media anual de Balcarce, se obtiene:

$$\lambda_s = 140 \ kg \ ha^{-1}d^{-1}$$

$$\lambda_s = \frac{Li \times Q}{A} \times 10^{-3} \quad [6]$$

$$A = \frac{Li \times Q}{\lambda_s} \times 10^{-3}$$

$$A = \frac{896 \times 5,4}{140} \times 10^{-3} = 0,034 \ ha = 340 \ m^2$$

Considerando la profundidad recomendada $H = 1,75 \ m$, se obtiene:

$$V = 595 \ m^3$$

Si bien de acuerdo a los cálculos realizados el tiempo de retención sería de 112 días, según el profesional consultado, lo ideal en estos casos, es reforzar la importancia de un tiempo de retención aproximado a 30 días y obviar el sobredimensionado innecesario.

Si bien estas fórmulas presentan un trasfondo teórico y experimental, resultan ideales para sitios con climas cálidos tropicales y con muy baja amplitud térmica, situación que no ocurre en Balcarce. Existen una gran variedad de casos en los que las lagunas facultativas sufren eutrofización debido al excesivo tiempo de permanencia resultante de dimensionamientos que sientan sus bases en las fórmulas ya mencionadas. Este fenómeno deriva en una consecuencia aún peor, cuando es necesaria una cloración para desinfectar el efluente para, por ejemplo, cumplir con la normativa de vuelcos a cuerpos de aguas superficiales. Esta cloración ocasiona un nuevo aumento en la DBO_5 al matar las algas producto de la eutrofización. Debido a esto, se determinó que el dimensionamiento de la laguna facultativa sea a partir de la siguiente ecuación:

$$V = Q \times t \quad [7]$$

Asumiendo un tiempo de permanencia $t = 30$ días, se obtiene:

$$V = 5,4 \times 30 = 162 \ m^3$$

Teniendo en cuenta la profundidad recomendada $H = 1,75 \text{ m}$ y que el largo de la laguna (L) es 2 veces su ancho (a):

$$A = 2 \times a \times a \approx 92,5 \text{ m}^2$$

$$a \approx 7 \text{ m}$$

$$L \approx 14 \text{ m}$$

Para la estimación del fondo del área de la laguna, se fija la inclinación del talud, 1:3 y considerando:

$$A_F = A_S - 2 \times P \times H \times (L + a) + (2 \times P \times H)^2 \quad [8]$$

A_F = área en el fondo (m^2)

A_S = área en la superficie (m^2)

P = inclinación del talud (%)

H = profundidad efectiva (m)

L = largo de la laguna en la superficie (m)

a = ancho en la superficie (m)

$$A_F = 92,5 - 2 \times 1/3 \times 1,75 \times (14 + 7) + (2 \times 1/3 \times 1,75)^2$$

$$A_F \approx 70$$

$$a_F \approx 6 \text{ m}$$

$$L_F \approx 12 \text{ m}$$

Finalmente, tomando como base la ecuación [9], se estima el porcentaje de remoción del DBO_5 en esta unidad de tratamiento:

$$\frac{Li_e}{Li_s} = 1 + k \times t \quad [9]$$

Li_e = DBO a la entrada de la laguna facultativa (mg/l)

Li_s = DBO a la salida de la laguna facultativa (mg/l)

k = constante de reacción de primer orden (constante cinética) (días^{-1})

t = tiempo de retención de la laguna (días)

Un criterio conservador recomendado cuando se desconoce el verdadero valor de la constante k , es el considerar su valor como $0,17 \text{ días}^{-1}$.

$$Li_s = \frac{896}{1 + 0,17 \times 30} \approx 147 \text{ mg/l}$$

De esta manera, la eficiencia de remoción resultaría en un 83,6 %, alcanzando los límites exigidos por el organismo de control para absorción al suelo. En la tabla 15 se resumen las dimensiones y características correspondientes a la laguna facultativa y en la figura 22 se representan las mismas a través de un esquema. Adicionalmente, resulta conveniente aclarar que la presente unidad de tratamiento, al igual que la laguna anaeróbica, también necesitaría de una impermeabilización adecuada.

Tabla 15. Características consideras y dimensiones laguna facultativa.

Nº de vacas en ordeño	90
Caudal del efluente (m ³ /día)	5,4
Eficiencia de remoción de DBO ₅ de la laguna anaeróbica (%)	60
Concentración DBO ₅ entrante (mg/L)	896
Tiempo de retención (días)	30
Volumen total de la laguna (m ³)	162
Profundidad (m)	1,75
Largo (m)	14
Ancho (m)	7
Eficiencia de remoción de materia orgánica como DBO ₅ de la laguna facultativa (%)	84
Concentración DBO ₅ saliente (mg/L)	147

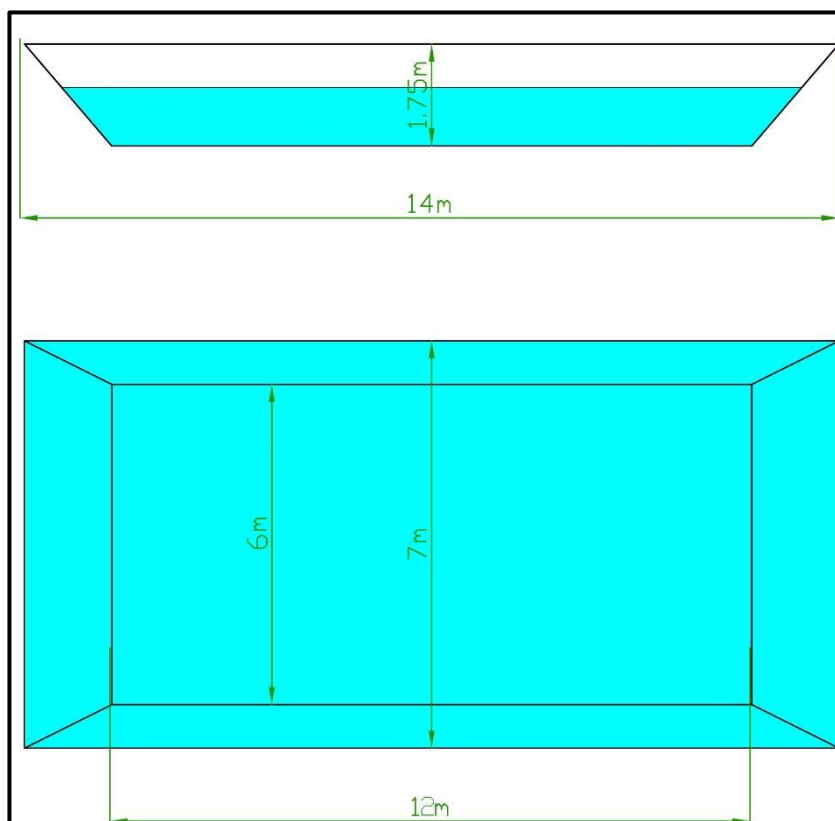


Figura 22. Esquema laguna facultativa

En la tabla 16, se indican las eficiencias de remoción del DBO₅, obtenidas a partir de la ecuación [9], y complementados los demás parámetros con las eficiencias estudiadas por Gutierrez & Cabrera (2004) a la entrada y salida de la laguna facultativa.

Tabla 16. Eficiencias de remoción para cada parámetro a la entrada y salida de la laguna facultativa.

	DBO ₅ (mg/l)	P (mg/l)	N (mg/l)	Coliformes fecales (NMP/100 ml)
Entrada	896	57,8	194,64	6,1x10⁵
Salida	147	31,5	87,8	6,1x10²
Eficiencia	83,6 %	45,4 %	55 %	Tres órdenes

En esta instancia, el factor determinante de un buen funcionamiento de la laguna facultativa, es el mantenimiento y limpieza de la misma. Al disponer del efluente para regar las parcelas lindantes al tambo, el agua residual residente de la laguna facultativa, debe ser utilizada diariamente para cumplir con su finalidad y evitar el colapso de la unidad. De acuerdo a la información brindada por los encargados del tambo, se propone una extracción máxima de 5 m³/día de efluente tratado, para cumplir con la demanda de los cultivos. De esta manera no se sobrepasa la capacidad de absorción del suelo y se utiliza agronómicamente los efluentes generados.

A las alternativas elegidas de los mecanismos de riego, superficial o por aspersión, en este caso se incorporaría un filtro inmediatamente a continuación del punto de succión del efluente para luego ser conducido hacia los aspersores. La determinación de cualquiera de estos dos métodos, dependerá de la capacidad técnica y económica que presente el tambo en ese momento.

El riego superficial es un método que no requeriría de energía externa para la distribución, podría realizarse por surcos o inundación y desde el punto de vista económico, resultaría como la alternativa más atractiva. Por el otro lado, uno de los requerimientos que tiene el riesgo por aspersión, además del bajo nivel de sólidos, es la dureza del efluente líquido para evitar incrustaciones en los sistemas de distribución. Se recomienda así, evaluar el nivel de la misma para lograr una correcta aplicación del efluente. La baja concentración de los microorganismos patógenos es otra exigencia que presenta este método, para evitar la dispersión de los mismos en el ambiente durante el riego. Si bien, se recalca la importancia de un correcto análisis físico-químico y bacteriológico del efluente a la salida de la última unidad de tratamiento, se estima a partir de la bibliografía consultada, que se cumpliría con este parámetro.

El efluente presentaría un tiempo de retención total aproximado de 40 días entre las dos lagunas. Una vez puesto en marcha el funcionamiento del sistema, se requieren 40 días para que ambas lagunas lleguen a su capacidad. Debe sumarse el tiempo necesario para decantar los sólidos en la primera unidad y se forme el sustrato necesario en ambas lagunas, para que las bacterias puedan desarrollarse y comienzan a degradar la materia orgánica.

Los 40 días serían suficientes para disminuir la viabilidad de microorganismos patógenos y hacer uso agronómico del efluente, en caso contrario se prevé la posibilidad de una cloración del efluente o la modificación del sistema de tratamiento, incorporando una laguna de maduración de 1,20 metros de profundidad, como máximo. Con tiempos de retención aproximados de 7 días, en caso que exista un alto nivel de patógenos, la remoción ocurriría efectivamente, a través de

la capacidad biocida de los rayos solares, siempre y cuando a la entrada a esta laguna se incorpore un efluente con baja DBO₅.

De todas formas, las tasas de aplicación del riego deben ser controladas para evitar la acumulación de nutrientes. Si esto no es así, en los primeros tiempos los nutrientes se incorporan al suelo y vegetación, pero luego de un tiempo esta capacidad se vería inactivada y los nutrientes terminarían atravesando la columna de infiltración sin ser removidos.

Al momento de evaluar químicamente el efluente tratado para su uso, es necesario también verificar el contenido de sales y controlar la RAS (Relación de Absorción de Sodio), que expresa la relación entre los iones de sodio, el calcio y magnesio existentes en el suelo. Altos contenidos de iones de sodio en agua de riego, podrían afectar la permeabilidad del suelo y causar problemas de infiltración.

Con los datos obtenidos previamente de la cantidad anual de nitrógeno y fósforo excretado, a partir de la herramienta de cálculo ya citada, se logró estimar la cantidad de nitrógeno y fósforo aprovechados por año y sus equivalencias en fosfato mono amónico y urea. Estos valores fueron puestos en comparación con los fertilizantes requeridos en los cultivos predominantes del tambo. Mientras que para la siembra anual de 30 ha de maíz y 30 ha de avena se emplean 80 kg de fosfato diamónico (PAD) por ha, para 40 ha de cultivo se utilizan 80 kg de urea por ha. Las equivalencias obtenidas en base al aporte de nutrientes brindados por el estiércol generado, arrojaron un resultado de 891 kg/año de fosfato monoamónico y 1651 kg de urea por año. En la tabla 17 se observan los beneficios del subproducto obtenido de la actividad tampera.

Tabla 17. Ahorro en fertilizantes.

Fertilizantes	Requerimientos (kg/año)	Equivalencias de los nutrientes aprovechados del estiércol (kg/año)
Fertilizantes fosfatados	4800	891
Urea	3200	1651

Una adecuada operación de la planta de tratamiento es tanto o más importante que un correcto diseño. Las labores típicas de operación y mantenimiento de las lagunas a llevar a cabo incluirían:

- Limpiar las unidades de entrada, interconexión y salida. En el caso de incorporar al sistema válvulas y/o compuertas, mantenerlas lubricadas.
- Inspeccionar y prevenir daños en los diques, cerco perimetral, y unidades de entrada, interconexión y salida.
- Cortar el pasto de los taludes exteriores y áreas circundantes, manteniéndolo con una altura máxima de 15 cm.
- Remover toda la vegetación emergente del talud interior de las lagunas.
- Verificar el estado adecuado de la protección de los taludes si existe (normalmente piedras o losetas). Retirar con cuidado la vegetación que pueda estar creciendo entre las diferentes piezas.

- No utilizar herbicidas ni otros biocidas para el control de vegetación en las lagunas, ni siquiera en los taludes exteriores. Las lagunas contienen sistemas vivos que son muy sensibles a estas sustancias, y si ingresaran, aun involuntariamente en ellas, podrían estropear su normal funcionamiento.
- Remover diariamente la nata sobrenadante de las lagunas facultativas y disponerla apropiadamente. Si hubiera plantas flotantes en la laguna (lenteja de agua u otras), también deben ser removidas, a fin de que la superficie esté despejada para favorecer el intercambio de oxígeno con la atmósfera.
- Si hay moscas en la superficie de la costra de la laguna anaerobia, rociarla con agua limpia. Nunca aplicar insecticida u otro biocida allí.
- Reparar cualquier daño que aparezca en los terraplenes o cualquier zona de las instalaciones del sistema de tratamiento.
- Recordar y hacerle saber a todas las personas que trabajan o viven en el lugar que las lagunas son sistemas biológicos diseñados para el tratamiento de los efluentes, y no sitios en los que se puede arrojar cualquier tipo de residuos. Se debe evitar especialmente el vertido de jeringas y agujas utilizadas para la aplicación de antibióticos, y de envases de biocidas (herbicidas, insecticidas, etc.).

4.2.2. Aspectos constructivos y viabilidad económica

Desde el punto de vista de la ejecución de la obra, si bien no es objetivo de este trabajo realizar una recomendación sobre los aspectos constructivos y la viabilidad económica del proyecto, se intentó sentar las bases de dichos componentes, con un fin orientativo, permitiendo a futuro un perfeccionamiento de los mismos.

El análisis económico fue ejecutado a partir de la Herramienta de cálculos de efluentes, más específicamente, la hoja de "Costos y Resultados", y externamente se consultó a dos empresas que ofrecen los servicios de excavación y remoción de tierra e impermeabilización de suelos, Ferrari Perforaciones SRL y Arquivial Servicios SRL, ambas radicadas en la ciudad de Balcarce.

En primera instancia, se determina el sitio de emplazamiento de las unidades de tratamiento. A partir de un análisis de los componentes topográficos del terreno, mencionados al comienzo del apartado 4.2.1., y teniendo en cuenta las dimensiones de las lagunas, se estableció como sitio óptimo para desarrollar el tratamiento del efluente, el indicado en la figura 23. Previo a cualquier tipo de construcción, se debe realizar la limpieza del terreno, mediante el retiro de la vegetación, escombros y cualquier otro elemento que no permita el desarrollo normal de las obras.



Figura 23. Posible sitio de emplazamiento del tratamiento propuesto (recuadro rojo)

Para lograr velocidades que evitan la sedimentación de sólidos en las tuberías de conducción entre las unidades de tratamiento, se aplica como criterio general que las pendientes mínimas no deberían ser inferiores a 1,8%. Para tramos cortos y con buena accesibilidad, como la interconexión entre lagunas, se puede trabajar con pendientes del 1,5%.

Con respecto a las unidades de retención de sólidos, deberán ser construidas con materiales idóneos que garanticen su estanqueidad y estabilidad estructural. Podría ser de mampostería (ladrillos o bloques), preferentemente armada, o de hormigón armado. La cámara de retención de sólidos debe ser revocada interiormente para proteger los materiales, y lustrada con lechada de cemento para garantizar su impermeabilidad y facilitar su limpieza.

Para la construcción del estercolero, se recomienda llevar a cabo una serie de pasos en el siguiente orden: excavación y compactación del piso. Además de retirar el suelo vegetal existente, como se especificó al comienzo de esta unidad, en caso de que los materiales del fondo tengan materia orgánica o no sean firmes, se deberá retirar los mismos y sustituirlos por balasto compactado, para evitar la fisura posterior del pavimento. El siguiente paso sería realizar un piso de hormigón armado de al menos 12 cm de espesor, con paredes de bloque armado. Y finalmente las cámaras de mamposterías deberán ser revocadas y lustradas interiormente, así como también las cañerías de PVC deberán asentarse en arena.

Para la construcción de las lagunas, más allá del movimiento de tierra y la compactación del suelo, de acuerdo a la naturaleza del material edáfico, se requerirá de una impermeabilización del fondo con membranas de PEAD. Y sumada a la limpieza previa del terreno, también se debe tener en cuenta el cercado de las mismas, para evitar el acceso de animales. A su vez, es necesario que el diámetro del colector de entrada, interconexión entre lagunas y salida, debe ser no menor a 160 mm.

Para la laguna anaerobia se recomienda que la entrada del efluente sea sumergida para evitar la posible aireación del líquido, que resultaría contraproducente para este tipo de tratamiento. En cambio para la laguna facultativa no sería necesario, ya que se favorece por el fenómeno de la aireación promovido por la entrada sobre el nivel del agua. La tubería de entrada

a la laguna anaerobia deberá ser finalizada en una pieza T apuntada hacia arriba, a fin de evitar una eventual obstrucción o de facilitar una posible desobstrucción.

Se recomienda contemplar para ambas lagunas una losa de hormigón o revestimiento de piedra sobre el sitio de descarga del efluente, para evitar la socavación del talud por el permanente flujo entrante. Lo mismo se aplica para la tubería de interconexión, en caso de incorporar una, entre las dos lagunas. En relación a la salida del efluente tratado, también es necesario una tubería terminada en una T cuyo extremo inferior alcance el punto del nivel de agua deseado y se conecte a la tubería de descarga.

A su vez, con respecto a la excavación y remoción de tierra, se considera junto con la empresa encargada de brindar dicho servicio, la posibilidad de que la laguna sobresalga unos metros con terraplenes, sobre el nivel de la superficie, debido a la posibilidad de existencia de un manto rocoso cerca de la superficie. De esta forma, la excavación va a realizarse hasta donde sea posible, luego será completada la altura, en caso que sea necesario, hacia arriba. Cuando las lagunas se construyen en parte excavadas y en parte en terraplén, se logra por un lado evitar el ingreso de aguas de escorrentía de la cuenca propia de las lagunas, y por otro, optimizar el movimiento de tierras de modo que el volumen excavado compense de la mejor manera posible el volumen de tierra necesario para la construcción de los terraplenes perimetrales. El ancho de la corona de estos terraplenes perimetrales no debe ser menor a 1,50 m para permitir el tránsito seguro sobre ellos (figura 24).

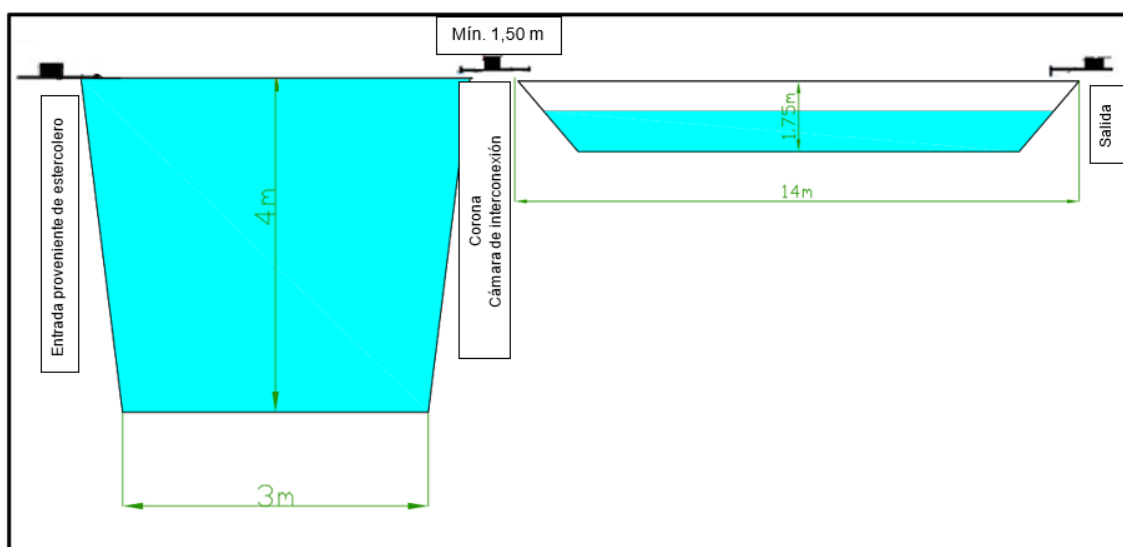


Figura 24. Aspectos constructivos de las lagunas

Al momento de evaluar la inversión necesaria para llevar a cabo el presente proyecto, tal como se indicó al comienzo de este apartado, se empleó la herramienta de cálculos, pero con el objetivo de realizar una aproximación un poco más precisa, es que se adaptó dicha herramienta a las características del sistema de tratamiento. Es decir, se descartaron aquellas inversiones consideradas innecesarias por no requerir de las mismas a lo largo de la ejecución del proyecto y se sumaron aquellas unidades de tratamiento que no fueron contempladas en la herramienta original, como el estercolero. Sumado a estas modificaciones, se consultó a las empresas ya mencionadas para obtener un presupuesto local de los servicios primordiales para concretar el sistema de tratamiento. De todas formas, cabe destacar que los valores expresados a continuación son aproximados.

La clasificación realizada en la herramienta de cálculo, parte de una diferenciación entre los costos operativos, el ahorro en fertilizantes y las inversiones de infraestructura. En primer

lugar, se contempla un total de USD 614 al año referentes a los costos operativos, dentro de los cuales se distingue la energía eléctrica (USD 71) y el servicio de un carro esparcidor de sólidos (USD 543), basado en la cantidad de estiércol producido (KgMS/año), contemplando un tratamiento físico de separación de sólidos y su retención de sólidos correspondiente. Seguido, se considera el ahorro en fertilizantes, teniendo en cuenta las cantidades indicadas previamente en la tabla 17 y los precios unitarios de los productos, se obtiene un total de USD 1547 que se ahorrarían en el empleo de fertilizantes. A partir de estos dos valores, se presentan los costos operativos netos en USD/año indicados en la tabla 18. Se observa un valor negativo que se traduce en que los costos que se generarían, serían menores que las ganancias obtenidas a partir del dinero ahorrado en compras de fertilizante.

Tabla 18. Costos operativos netos.

Ahorro en fertilizantes (USD/año)	1.547
Costos operativos (USD/año)	614
Costos operativos netos (USD/año)	-934

A continuación, se realiza una distinción entre las inversiones necesarias para la construcción de las lagunas y del estercolero, para luego unificar las con las demás inversiones, las cuales se presentan con valores predeterminados. Las inversiones en lagunas se discrimina el movimiento de tierra (incluido el flete y herramientas) y la impermeabilización del fondo (incluye materiales y mano de obra). A partir de estos dos factores, se consultó a contratistas especializados que cotizan los valores indicados en la tabla 19.

Tabla 19. Inversiones en lagunas.

Inversiones en lagunas	Presupuestos de empresas (USD)	Valores herramienta de cálculo (USD)
Movimiento de tierra	820	1051,84
Impermeabilización	1630	1311,24
Total	2430	2363,08

Estos resultados evidencian, por un lado, la buena estimación de los cálculos de la herramienta y por otro, permiten alcanzar un análisis íntegro de los puntos económicos relevantes. Sumado a los costos unitarios predeterminados de los demás elementos, indicados por la herramienta y los valores de la tabla 20, se obtiene un resultado completo de inversiones. En la tabla 21 se observa la amortización USD/año y la vida útil de las inversiones.

Tabla 20. Inversiones en estercolero según (Grandis & Visintini, 2015).

Inversiones en estercolero	Costo unitario (USD)	Cantidad (m ³)
Losa maciza de hormigón armado	40	8,5
Total (USD)	336	

Tabla 21. Inversiones totales

Inversiones	Inversión (USD)	Duración (años)	Amortización (USD/año)
Laguna 1	507	30	17
Laguna 2	1856	30	62
Estercolero	336	10	34
Bomba estercolera	1000	5	200
Obra civil	3000	20	150
Playón de depósito de sólidos	1446	20	72
Instalación eléctrica	1000	10	100
Total	9145		635

Los resultados de las tablas 18 y 21, indican que a partir de la ejecución de este proyecto, se obtendría un beneficio económico total anual de 299 USD (beneficio - amortizaciones).

4.3. Resultados

En los gráficos de las figuras 25, 26, 27, 28 y 29 se realiza un resumen de la remoción de los parámetros considerados más significativos, a partir del sistema de tratamiento propuesto. A su vez, en la tabla 22, se realiza una comparación entre las concentraciones de dichos parámetros al comienzo y final del tratamiento, frente a lo exigido por la legislación provincial.

Tabla 22. Concentraciones exigidas por la legislación frente a las obtenidas al comienzo y final del sistema de tratamiento

	Res. 336 - ADA (Absorción por el suelo)	Concentraciones al inicio del sistema de tratamiento propuesto	Concentraciones al final del sistema de tratamiento propuesto
NKj (mg/l)	≤ 105	410	87,8
P Total (mg/l)	≤ 10	80	31,5
DBO (mg/l)	≤ 200	3200	147
SSEDIM 2 hs (ml/l)	≤ 5,0	107,2	0
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	≤ 2000	6,1x10 ⁶	610

En el caso de los sólidos sedimentables, la disminución más significativa ocurre al final del estercolero, igualmente se considera que la concentración remanente de estos últimos, es menguada durante la sedimentación ocurrida en la laguna anaerobia. En esta instancia, se obtiene un barro estabilizado, que tal como se indicó previamente, se irá evacuando a demanda, depositándolos sobre el playón de sólidos.

Figura 25. Cambio del Nitrógeno total a lo largo del sistema

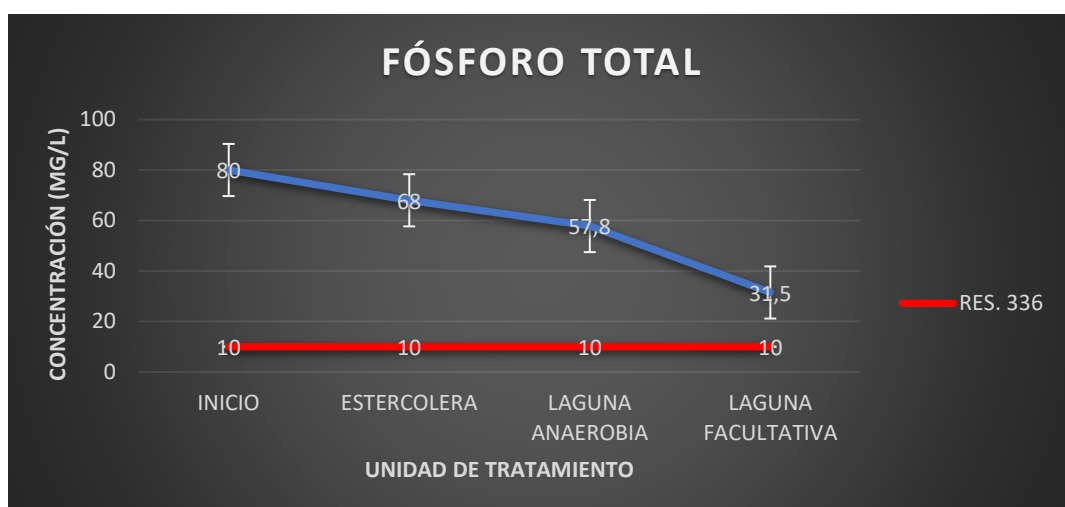
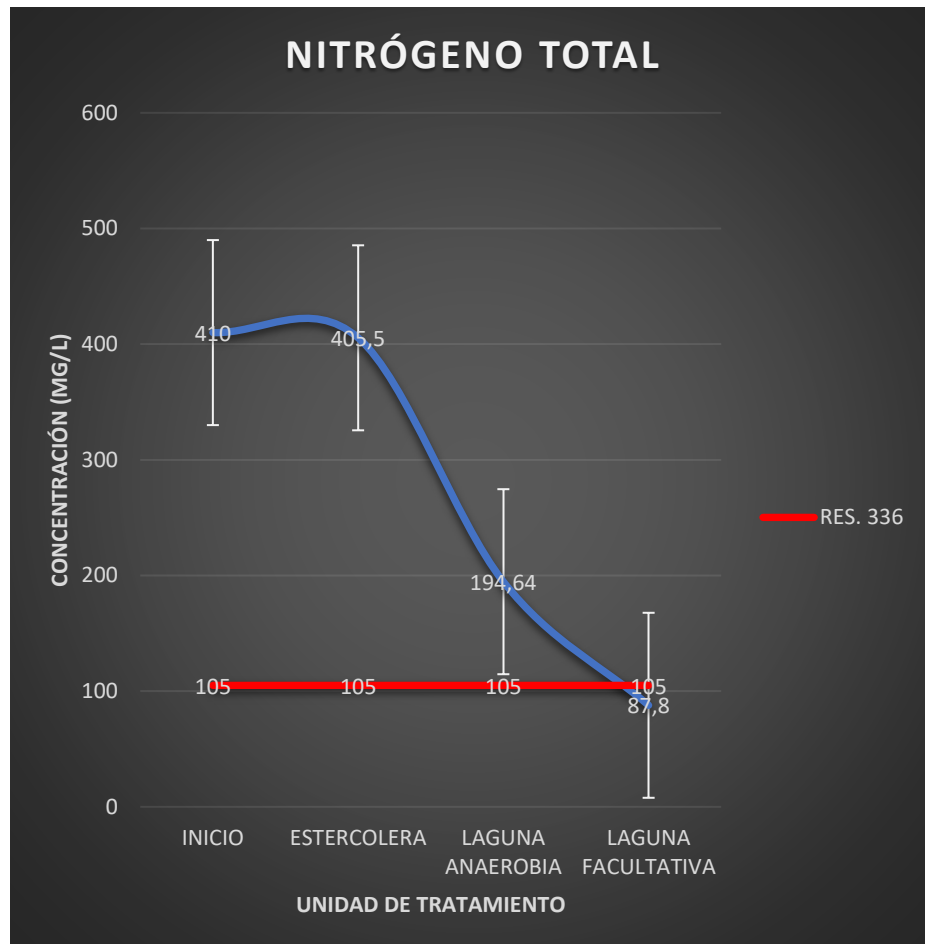


Figura 26. Cambio del Fósforo total a lo largo del sistema

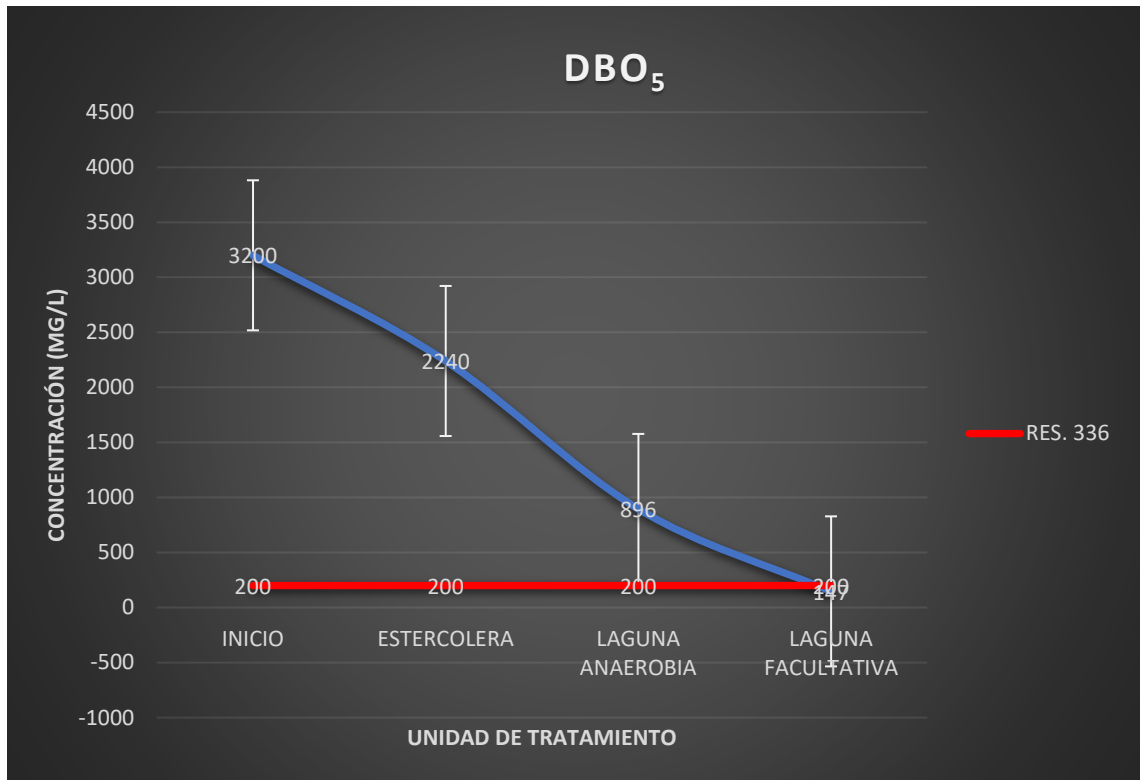


Figura 27. Cambio del DBO₅ a lo largo del sistema

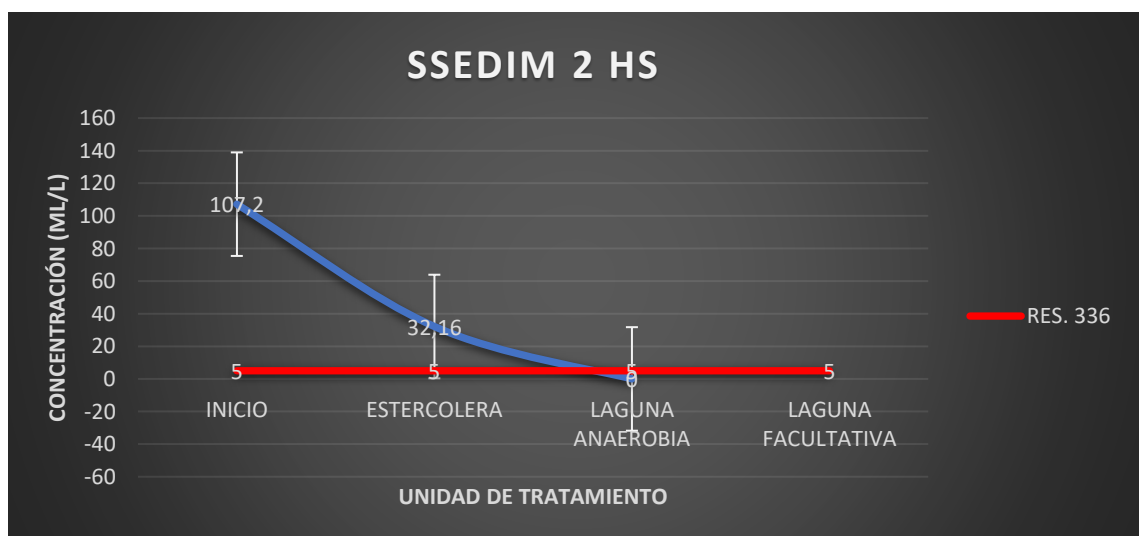


Figura 28. Cambio de los SSEDIM 2 HS a lo largo del sistema



Figura 29. Cambio de los Coliformes fecales a lo largo del sistema

Conclusiones

Desde el momento que se comenzó a diseñar la estructura y redacción del presente trabajo, se planteó como objetivo principal idear una propuesta para el tratamiento de los efluentes del tambo de estudio, de manera tal que pueda ser adaptada a la realidad de dicha unidad productiva.

Pese a la gran cantidad de información disponible concerniente a la temática, resultó un desafío lograr aplicar la teoría estudiada a la práctica, considerando también las limitantes en recursos económicos para proponer soluciones ideales. Una de las pautas principales a mencionar es que con este proyecto se intentó dar un marco y una guía para solucionar la problemática en particular, pero en caso de querer ser implementada debería ser complementada con estudios específicos como análisis físico-químico y bacteriológico del efluente.

Si bien se consultó a una extensa bibliografía, citada previamente, y se logró unificar valores de los parámetros claves para el tratamiento de aguas residuales, se considera fundamental realizar una caracterización particular para este caso.

Resultó esencial realizar las visitas al establecimiento y las entrevistas a los médicos veterinarios. A partir de la información de la visita, se pudo registrar el proceso diario de ordeño, las características de las instalaciones y las dimensiones del predio. Información necesaria para identificar los puntos críticos a contemplar a la hora de diseñar un sistema de tratamiento de efluentes.

Se observaron inicialmente cuáles son las consecuencias de una incorrecta o nula gestión de los efluentes generados en un tambo. A partir de esto, se puntualizó en aquellos parámetros físico-químicos y bacteriológicos que debían ser corregidos para cumplir con la normativa vigente.

Resultó relevante revisarla legislación correspondiente de la temática estudiada. A pesar de disponer de una normativa en particular para la provincia de Buenos Aires, que aplica a la descarga de efluentes y al agua residual generada en el tambo, se carece de legislación local de tratamiento de efluentes de tambos.

Se considera fundamental la creación de una resolución municipal que regule la actividad tampera. Que involucre en el control al Municipio y provea el apoyo para los tambos del partido de Balcarce implementen buenas prácticas tamperas. Se disponga asesoramiento profesional y apoyo en la gestión de recursos económicos para la construcción de las plantas de tratamientos.

Se advirtió la necesidad del trabajo en grupo interdisciplinario de profesionales para comprender el problema y plantear soluciones integrales. Durante el proceso de investigación y en la toma de decisiones puntuales, se recurrió a profesionales expertos en diversas áreas, poniendo en evidencia la transversalidad de los asuntos ambientales.

Como consecuencia de haber reconocido aquellos componentes contaminantes, se apuntó la búsqueda de tratamientos de efluentes directamente a aquellos que logren la remoción o reducción de estas sustancias. Resulta primordial que el sistema trate la carga orgánica presente en el estiércol y los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.

Se vislumbra la viabilidad de reutilizar el efluente como abono para los cultivos del predio. La aplicación reduce las distintas opciones para disposición final del efluente, a un único destino.

Por el volumen diario de efluente generado en el tambo, fue necesario emplear la Herramienta de cálculos. La cual permitió advertir las diversas fuentes que componen el efluente y ponderar las carencias edilicias, fundamentales para reducir la generación de efluentes. Tal es el ejemplo de las canaletas, se propone de esta forma como medida adicional

a llevar a cabo el proyecto, la construcción de canaletas en la totalidad de las instalaciones cubiertas, para desviar y aprovechar el agua pluvial, en lugar de contribuir con el volumen de efluentes generados.

A lo largo del estudio de los diversos métodos existentes de tratamiento de efluentes de tambo, se encontró con una gran variedad de opciones que dependen de la magnitud del establecimiento, las condiciones climáticas, y la capacidad económica, entre otros factores. La lógica planteada es un tratamiento físico primario para disminuir la cantidad de sólidos inertes a partir de una reja, seguido por otra unidad de separación de sólidos, un estercolero, para finalmente concluir en un sistema de dos lagunas en serie, una anaeróbica y otra facultativa, con el fin de corregir los parámetros ya mencionados en el párrafo anterior. Cabe destacar, a modo esclarecedor que, si bien la opción de separación de sólidos propuesta no sería la ideal, debido a que el subproducto es un sólido de alto porcentaje de humedad, se consideró en primer instancia aquellos métodos que no presenten costos de implementación elevados. Si bien la propuesta y el desarrollo de los cálculos fueron realizados en base a esta consideración, alternativamente a futuro, no se descarta la posibilidad de implementar un tamiz estático, que posee un porcentaje mayor de eficiencia y un porcentaje menor de humedad del sólido.

Adicionalmente, se consideró los subproductos sólidos de este sistema, proyectando un playón para depositar los sólidos provenientes de los sistemas de separación de sólidos y lograr estabilizar los mismos para un posterior empleo como enmienda. Así como también, utilizar el producto final del efluente tratado como riego.

Sin embargo, para el agua residual tratada como para los sólidos estabilizados en el playón, se requieren análisis físicos-químicos, bacteriológicos y el balance de nutrientes necesarios para el uso agronómico, contemplando los requerimientos del cultivo y la fertilidad del suelo, para estos procedimientos se cree necesario el asesoramiento de un ingeniero agrónomo.

Inicialmente, se intentó diagramar las unidades de tratamiento secundario en base a métodos empíricos que se fundamentan en la temperatura media del mes más frío, la cinética de las partículas, etc. Al momento de la obtención de resultados, se obtuvo valores sobredimensionados con respecto a la situación real del caso de estudio. Se consideró errático los resultados obtenidos a partir de los sistemas empíricos y se propuso considerar los factores fundamentales para alcanzar el correcto tratamiento del agua residual dentro de los parámetros óptimos.

Se evaluaron otras experiencias de sistemas de lagunas y así, se ponderó la importancia del tiempo de retención hidráulica del efluente en ambas lagunas, de manera tal que no se exceda del intervalo ideal para que ocurran las condiciones necesarias donde la materia orgánica sea degradada, se disminuya el contenido de sales, nutrientes y baja o nula concentración de patógenos. De esta manera, a partir de las eficiencias conservadoras de remoción de cada unidad de tratamiento, se logra alcanzar los valores permitidos por la normativa provincial, para vuelco de efluentes en absorción de los mismos en el suelo. En base a dichos cálculos, el parámetro que no logró cumplir con los límites exigidos fue el fósforo total. Debido a que los valores obtenidos son aproximaciones teóricas, se refuerza la imperiosa necesidad de un análisis físico-químico y bacteriológico del efluente, para obtener valores exactos y contemplar, en ese caso, la posibilidad de adicionar otra instancia al tratamiento, como puede ser una precipitación química con sales metálicas, para alcanzar los valores indicados por la legislación.

Más allá del diseño, se remarca la importancia del seguimiento y mantenimiento de las unidades de tratamiento, individualizando cada una y evaluando la necesidad de limpieza con la frecuencia recomendada, mantenimientos programados como sustitución de la reja, mezclas de

los sólidos en el playón, mantenimiento de las conexiones entre lagunas y la remoción de vegetales u otros materiales de la superficie de las lagunas.

Se considera importante, incorporar a la rutina de lavado, mangueras con punteros que otorgan una mejor limpieza, con mayor presión y menor caudal. Se recomienda reforzar la limpieza previa en seco del corral de espera, ya que depende de esta acción, en gran medida, la carga orgánica que presentará el efluente al iniciar el tratamiento. Adicionalmente, la distinción de los residuos generados en las instalaciones tamberas, más específicamente los residuos sólidos y su correcta disposición, mencionada en el primer capítulo, sirve de recomendación para emplear dicha gestión en el presente caso de estudio.

Finalmente, como conclusión final, se puede afirmar que en los efluentes de tambos existe la oportunidad de agregar valor en origen y contribuir a la sustentabilidad de los sistemas con su utilización como biofertilizantes.

Implicancias

Es relevante mencionar el carácter interdisciplinario en el que se desarrolló este trabajo en el ámbito de la Facultad de Ingeniería, ya que los contenidos aquí propuestos sirvieron como insumos para una metodología desarrollada por el estudiante Martin Matus de la carrera Ingeniería en Informática en el marco del proyecto final de la carrera. Esta metodología consistió en una aplicación para celulares, dirigida a productores tamberos y actores relacionados. La misma permite a partir del ingreso de una serie de datos, recomendar un sistema de tratamiento para los efluentes del tambo. Se colaboró para el desarrollo de esta aplicación, desde el punto de vista del manejo de la herramienta de cálculos y el asesoramiento técnico de ciertos elementos.

Referencias

- Aimar M.V., Consigli R.I., Cravero B.F., Rosmini M.R., 2012. Manual de Buenas Prácticas Pecuarias para establecimientos productores de leche y carne bovina de base pastoril. Universidad Católica de Córdoba y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos del gobierno de la provincia de Córdoba. Córdoba, Argentina. 288 p.
- Bilenca, D., & Miñarro, F. (2004). *Identificación de Áreas Valiosas de Pastizal en las pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil (AVPs)*.
- Burón Alfano, V., Questa, G., M.A. H., Orlando, A. , Flores, M., & Charlón, V. (2010). Potencial de reutilización de los residuos provenientes de tambos comerciales para la fertilización de recursos forrajeros, *11(2)*, 85–92.
- Burton, C. H., & Turner, C. (2003). Manure management. Treatment strategies for sustainable agriculture. *2nd Ed. Silsoe Research Institute*, 451 pp.
- Cañada, P., Herrero, M. A., Dejtiar, A., & Vankeirsbilck, M. I. (2018). *GBP. Gestión de Purines en Tambo*.
- Centeno, A. (2013). Intensificación en el tambo : ¿Qué cambió?, 1–3.
- Charlón, V. (2013). Principios y recomendaciones básicas para la gestión de los efluentes, 1–9.
- Charlón, Verónica, Taverna, M., Walter, E., & Manzi, F. (2004). Riego por aspersión: un posible destino de los efluentes del tambo, (Cuadro 1), 1–5.
- Cisneros Basualdo, N. (2015). Diagnóstico Ambiental de dos Tambos en la cuenca Mar y Sierras, Tandil. *Facultad de Ciencias Humanas*.
- Correa, C. (2014a). Alternativas de desempeño ambiental para el tratamiento de los efluentes y manejo de los sólidos. *Portal Lechero - Anuario de La Lechería*, 53(9).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Correa, C. (2014b). Posibles alternativas de desempeño ambiental para el tratamiento de los efluentes y manejo de los sólidos. *Portal Lechero*, 1–27.
- Correa, C., Rezzano, N., & García, F. (2016). *Manual para la gestión ambiental de tambos. Manual para la gestión ambiental de tambos*.
- Culot, J. (2000). Caracterización edafo-climática de la región sudeste de la Pcia. de Bs. As. para *E. globulus*. In *Primer Seminario Internacional de E. globulus en la argentina*. Mar del Plata, Argentina.
- Davis, J. G., Truman, C. C., Kim, S. C., Ascough, J. C., & Carlson, K. (2006). Antibiotic transport via runoff and soil loss. *Journal of Environmental Quality*, 35(6), 2250–2260.
<https://doi.org/10.2134/jeq2005.0348>
- Di Giacomo, A. (2005). *Áreas Importantes para la Conservación de las Aves en la Argentina - Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad*.
- Diez, M. (2012). Efluentes de tambo, mucho más que residuos. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 20(251), 1–4.
- DINAMA, Conaprole, & Imfia. (2008). Evaluación de los sistemas de tratamiento de tambos. *The British Journal of Psychiatry*, 111(479), 1009–1010.
<https://doi.org/10.1192/bjp.111.479.1009-a>
- ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A. (2012). Estudio de Calidad De Fuentes Utilizadas Para El

- Consumo Humano Y Plan De Mitigación Por La Contaminación, 70. Retrieved from <http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
- Fernández, J., & Curt, M. (2011). Métodos Analíticos para aguas residuales. *Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrofitas En Flotación*, 117–128. Retrieved from [http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual de fitodepuracion/Capitulos Anexos1.pdf%5Cnhttp://es.scribd.com/document_collections/3001637/widget%0Ahttps://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos Man](http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%20Anexos1.pdf%5Cnhttp://es.scribd.com/document_collections/3001637/widget%0Ahttps://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Man)
- Galindo, G., Herrero, M. A., Korol, S., & Fernández Cirelli, A. (2004). Water Resources in the Salado River Drainage Basin , Buenos Aires , Argentina : Chemical and Microbiological Characteristics. *International Water Resources Association*, 29, 81–90. <https://doi.org/10.1080/02508060408691751>
- García, A. R., Fleite, S. N., & Bereterbide, J. (2016). Marco legal ambiental para el manejo de residuos en producciones animales intensivas, 26. Retrieved from https://inta.gov.ar/sites/default/files/marco_legal_para_manejo_residuos_sist._prod._animal_-_inta_2.pdf
- García, K. (2015). Gestión de Efluentes y Residuos Generados en la Producción de Leche.
- García, K. E. (2015). Manejo de efluentes en instalaciones tamberas. *Trabajo Presentado En La 6° Jornada Nacional de Forrajes Conservados.*, 1–4.
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (2019). Guía para la Iniciación de tambos a la Resolución de Purines. Retrieved from https://www.gba.gov.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Guia_para_la_inscripcion_de_tambos_en_ADA.pdf
- Grandis, M. J. De, & Visintini, M. G. (2015). Manejo Del Efluente En El Tambo.
- Groppelli, E. (2001). Tratamiento de Efluentes Líquidos (pp. 1–7). Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional del Litoral.
- Herrero, M., Iramain, M., Korol, S., Buffoni, H., Flores, M., Pol, M., ... Fortunato, M. (2002). Calidad de agua y contaminación en tambos de la cuenca lechera de Abasto Sur, Buenos Aires (Argentina). *Rev. Arg. de Producción Animal*, 22(1), 61–70. Retrieved from http://www.produccionbovina.com.ar/agua_bebida/40-herrero.pdf
- Herrero, María A., & Gil, S. B. (2008). Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología Austral*, 18(3), 273–289.
- Herrero, María Alejandra, Maldonado May, V., Sardi, G., Flores, M., Orlando, A., & Carbó, L. (2000). DISTRIBUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIOS BONAERENSES. 1. CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA Y UTILIZACIÓN DEL AGUA, (January).
- INTA. (2011). PROYECTO: RED DE INFORMACIÓN AGROPECUARIA PAMPEANA (RIAP).
- INTA. (2017). Manual para operarios de tambos. *El Profesional Tambero*, 91, 399–404.
- INTA EEA Balcarce. (n.d.). Registro de precipitaciones diarias. Período 1930-2020. Retrieved from <http://anterior.inta.gov.ar/balcarce/info/meteorologia/lluvia2.htm>
- IRAM. (1989). *Tanques refrigeradores de leche a granel. Norma n°:8043.*
- Iramain, M. S., Nosetti, L., Herrero, M. A., Maldonado May, V., Flores, M., & Carbó, L. (2001). Evaluación del uso y manejo del agua en establecimientos lecheros de la Provincia de

- Buenos Aires, Argentina. In *III Encuentro de las Aguas* (pp. 1–11).
- ISO. (1986). *ISO 6461*.
- La Manna, A. (1995). *ORGÁNICOS EN TAMBOS*. Montevideo, Uruguay.
- MAGyP. (2015). Estadísticas de producción primaria. Retrieved from https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_lecheria/estadisticas/
- Mara, D. D., & Pearson, H. W. (1987). *Waste stabilization ponds. Design manual for Mediterranean Europe*.
- Marais, G. (1974). Fecal bacterial kinetics in stabilization ponds. *Journal of Environmental Engineering Division, ASCE* 100 (, 119–139.
- Martínez, R., Tepal, J., Hernández, L., Escobar, C., Amaro, R., & Blanco, M. A. (2011). *Mejora continua de la calidad higiénico-sanitaria de la leche de vaca. Manual de capacitación*.
- Massone, H., Martínez, D., & Tomas, M. (2005). Caracterización hidroquímica superficial y subterránea en la cuenca superior del arroyo grande (Prov. de Buenos Aires), (1).
- Menéndez Gutiérrez, C., & Díaz Marrero, M. A. (2006). *Lagunas. Diseño, Operación y Control*, (November).
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales - Tratamiento, Vertido y Reutilización*.
- Ministerio Provincial de Asuntos Agrarios. (2009). Resumen estadístico de la cadena láctea de la Provincia de Buenos Aires.
- Missaoui, A. M., Allen, V. G., Green, C. J., & Brown, C. P. (2002). Response of bromegrass to nitrogen fertilization. I. Grasslands matua prairie grass. *Journal of Plant Nutrition*, 25(9), 1895–1908. <https://doi.org/10.1081/PLN-120013282>
- Morín, S., Bazterrica, M., Catalá, M., Charlon, V., Fariña, S., García, K., ... Taverna, M. (2017). *Herramienta de Cálculo de Efluentes - Versión Beta*. Retrieved from <https://www.crea.org.ar/caculo-de-efluentes/>
- Morse, D. (1995). Environmental considerations of livestock producers. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2733–2740. <https://doi.org/10.2527/1995.7392733x>
- Muñoz, H. A., Lehmann, H. A., & Martínez, G. P. (1996). *Manual de depuración URALITA*. (Editorial Paraninfo S.A, Ed.).
- MVOTMA, DINAMA, & CONAPROLE. (2008). *Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros. Diseño, operación y mantenimiento de sistema de tratamiento de efluentes*.
- Negri, L. ., & Aimar, M. . (2016). *Guía de Buenas Prácticas para tambos*.
- Nennich, T. D., Harrison, J. H., VanWieringen, L. M., Meyer, D., Heinrichs, A. J., Weiss, W. P., ... Block, E. (2005). Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3721–3733. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73058-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73058-7)
- Nosetti, L., Herrero, M. ., Pol, M., Maldonado May, V., Iramain, M. ., & Flores, M. (2002). Cuantificación Y Caracterización De Agua Y Efluentes En Establecimientos Lecheros, 4(1), 37–43. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/159499467.pdf>
- Nosetti, L., M.A, H., Pol, M., Maldonado May, V., Korol, S., Rossi, S., ... Flores, M. (2002). Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros II . Calidad de efluentes y eficiencia de los procesos de tratamiento, 4(1), 45–54.

- Peralta Escobar, F. S., Yungan Yunga, J. I., Ramirez Alcivar, W. E., & Vicente, E. (1999). *Diseño de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales provenientes de las industrias procesadoras (empacadoras) de Camarón*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Ecuador.
- Rao, S. N., & Prasad, R. P. (1997). Phosphate pollution in the groundwater of lower Vamsadhara river basin, India. *Environmental Geology*, 31(1–2), 117–122. <https://doi.org/10.1007/s002540050170>
- Sanchez, C., Castignani, H., Marino, M., & Suero, M. (2012). *LA LECHERÍA ARGENTINA : ESTADO ACTUAL Y SU EVOLUCION*.
- SanCor. (2009). *Manual de Gestión Integral de la Empresa Tampera*.
- SayDS. (2007). 2da Comunicacion Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- Sweeten, J. M., Parnell Jr, C. B., Shaw, B. W., & Auvermann, B. W. (1998). Particle Size Distribution of Cattle Feedlot Dust Emission. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 41(5), 1477–1481. Retrieved from <https://agrilife.org/envsys/files/2016/03/Sweeten-et-al.-1998.pdf>
- Tanner, C., & Kloosterman, V. (1997). Guidelines for constructed wetland treatment of farm dairy wastewaters in New Zealand. *NIWA Science and Technology Series*.
- Taverna, M, Charlón, V., García, K., & Walter, E. (2007). Manejo de Efluentes de Tambos, INTA Rafaela. *Idia XXI*, 9, 192. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962002005000035>
- Taverna, Miguel. (2006). El manejo de efluentes. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 26(313), 30–31.
- Tomas, M., Farenga, M., Bernasconi, M., Martínez, G., Massone, H., Cabria, F., ... Salgado, P. (2005). Atlas digital del Partido de Balcarce Provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista Cartográfica*, (80–81), 91–102.
- Turner, B. L., & Haygarth, P. M. (2000). Phosphorus Forms and Concentrations in Leachate under Four Grassland Soil Types. *Soil Science Society of America Journal*, 64(3), 1090–1099. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6431090x>
- U.S. EPA. (1999). PRELIMINARY DATA SUMMARY - Feedlots Point Source Category Study, 81.
- Uribe T, F., Zuluaga S, A. F., Valencia C, L. M., Murgueitio R, E., Ochoa S, L. M., & CIPAV. (2011). *Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible - Buenas prácticas ganaderas*.
- Vasallo, C., Gutiérrez, M. S., Cabrera, M. N., Benítez, A., & Gutiérrez, A. (2008). *Manual para el manejo de Efluentes de Tambo*. (A. y P. Ministerio de Ganadería, Ed.). Montevideo, Uruguay: Fundación Julio Ricaldoni, Facultad de Ingeniería, UdelaR.
- Volpe, S., Sardi, G., Carbó, L. I., Gutierrez, G., & Ormazabal, J. J. (2008). Lixiviación nitrogenada y fosfatada según fuentes y estrategias de fertilización. In *Proceedings del V Congreso Iberoamericano de Química y Física Ambiental*.
- Willers, H. C., Karamanlis, X. N., & Schulte, D. D. (1999). Potential of Closed Water Systems on Dairy Farms. *Water Science and Technology*, 39, 113–119.