

INFORME TRABAJO FINAL

Tratamiento de efluentes de producción láctea para la
Agricultura Familiar. Intervención Profesional en el
Tambo “6 de Agosto”.

MODALIDAD: INTERVENCION PROFESIONAL

Estudiante: Ignacio Gabriel Ramírez

N° de legajo: 26055/7

DNI: 34514514

e-mail: ramirez.ignaciog@gmail.com

Fecha de Entrega: 16/03/18

Director: Ing. Agr. (Ms Sc) Ramón Isidro Cieza

Co Director: Lic. (Mag.) Joaquín Alejandro Córdoba

INDICE

| | Página |
|--|--------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 2. OBJETIVOS | 4 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 5 |
| 4. PLANTEO DE LA PROBLEMÁTICA | 6 |
| 4.1. Contexto donde se desarrolla la intervención profesional | 6 |
| 4.2. Tratamiento de efluentes en sistema de producción lechero | 10 |
| 4.3. El predio “6 de agosto” como sistema productivo a desarrollar el trabajo de intervención profesional | 16 |
| 5. DIAGNÓSTICO | 17 |
| 5.1 Diagnóstico situación inicial | 17 |
| 6. PROYECTO DE INTERVENCIÓN | 25 |
| 6.1. Descripción de los humedales | 25 |
| 6.2. Descripción de los procesos de eliminación de contaminantes en Humedales Construidos | 27 |
| 6.3. Diseño de un sistema de depuración para las aguas residuales del sector de ordeño del tambo 6 de agosto | 32 |
| 6.4. Construcción del sistema de tratamiento | 36 |
| 6.5. Cosecha de agua de lluvia para su uso como agua de limpieza de pisos | 41 |
| 7. CONCLUSIONES | 44 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 46 |

1. Introducción

Una de las problemáticas que atraviesan los productores lecheros en general, y en particular los familiares, es la contaminación de las fuentes de aguas de las cuales se proveen para abastecerse, tanto para consumo animal como para el humano. La calidad del agua de consumo es motivo de preocupación por la salud de la población rural, pero como generalmente se extrae de la misma fuente, en el caso de los tamberos también preocupa por la salud y nutrición de los animales, y por la higiene de las instalaciones de los tambos para la calidad de la producción. A esto se suma la importancia de la devolución al ambiente circundante de agua contaminada, sobre todo en los casos en que los tambos se encuentren cerca de poblados.

El tratamiento de efluentes de las producciones familiares es parte de un problema mayor asociado al manejo integral del agua en el predio. De esto se desprende un mal estado o mala concepción de las infraestructuras de captación, almacenamiento y distribución de agua, así como la disposición de los efluentes que repercuten luego en la calidad de agua para su consumo. A ello se le suman sistemas sanitarios muy elementales (letrinas o pozos absorbentes) que no acceden a los sistemas de saneamiento centralizados (redes cloacales), y perforaciones precarias para la captación de agua subterránea. Numerosas investigaciones dan cuenta de la problemática mencionada. El tipo de acuífero más comúnmente explotado por los agricultores familiares en la Región Pampeana es el freático. La razón no se debe a su calidad ni capacidad, sino fundamentalmente a su facilidad de acceso, por la reducida profundidad respecto a la superficie del terreno (Moreyra et al, 2012a). Es evidente que el centro del problema es la conexión entre las aguas residuales y las de consumo, siendo imprescindible establecer mecanismos para cortar el circuito de contaminación y contacto (Córdoba, 2013). Para eso es necesario depurar las aguas residuales antes de su vertido al suelo o a cursos de agua receptores.

Considerando las condiciones de vida de los productores agropecuarios en general y en particular los familiares, es muy importante proponer tecnologías sencillas, confiables, económicas y versátiles para que cumplan su función y puedan ser desarrolladas por la comunidad. Deben ser de fácil construcción, de bajo requerimiento de tiempo y mano de obra para su operación y mantenimiento, y que su construcción pueda realizarse con materiales de fácil acceso. Los tratamientos naturales de efluentes, en este sentido, contribuyen a mejorar la condición sanitaria del ambiente y en particular del agua subterránea que es bombeada para su consumo (Mariñelarena, 2006).

La Universidad Nacional de La Plata cuenta con establecimientos productivos, los cuales han quedado cercanos a las ciudades con el transcurrir de los años. Estos han resistido los procesos de urbanización, haciendo que en la actualidad estén rodeados de núcleos habitacionales de alta densidad poblacional. Entre ellos se encuentra el predio “6 de agosto” en el cual se desarrollan proyectos de producción láctea y de hortalizas con una perspectiva social y ambiental. El predio “6 de agosto” actualmente se encuentra enmarcado bajo la órbita de la Prosecretaría de Desarrollo Comunitario y Social de la FCAyF, desarrollándose en él actividades de Docencia, Extensión Universitaria e Investigación apropiada para la agricultura familiar. En las mismas

participan docentes, estudiantes de agronomía (pasantes) y otras carreras afines, una trabajadora no docente de la facultad y vecinos del barrio Villa Argüello. La producción de leche actualmente es utilizada para trabajos de investigación en actividades académicas en la Cátedra de Agroindustrias, otra es industrializada por vecinos del barrio para consumo en forma de queso y gran parte se destina a comedores de distintos barrios de la ciudad, cumpliendo de esta manera un doble rol, el de producir con fines educativos y sociales. En cuanto a la estructura productiva del predio se asemeja a la de pequeños productores familiares lecheros de la Cuenca de Abasto Sur, la cual comprende La Plata y partidos vecinos (San Vicente, Magdalena, Punta Indio y Brandsen), de los cuales muchos de ellos se encuentran en zonas periurbanas similares a las planteadas en este caso (Di Piero, et al, 2015).

Entre la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAYF-UNLP), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar de Región Pampeana (IPAF RP-INTA) y el Instituto de Limnología “Dr. Raúl A. Ringuelet” (ILPLA), se inició una experiencia en el predio “6 de agosto” para evaluar un sistema basado en humedales construidos para depurar sus aguas residuales del tambo allí existente. La misma se realizó en dos etapas, la Primera se inicia en el año 2015, donde se plantea el marco teórico y se adecuan las condiciones físicas para la realización de la experiencia. La segunda etapa comienza con el funcionamiento del sistema de tratamiento de efluentes a fines del año 2017. El objetivo de esta etapa fue desarrollar y aplicar técnicas simples y económicas para la depuración de aguas residuales. Actualmente se está en proceso de construcción de un sistema de tratamiento de los efluentes que genera el tambo del mencionado predio. Este trabajo final de grado, bajo la modalidad de intervención profesional, se estructuró a partir de mi participación como estudiante en el acompañamiento al equipo técnico que desarrolla un sistema de tratamiento de efluentes para el predio “6 de agosto” apropiado para la agricultura familiar. En el mismo se refleja la tarea desarrollada desde la conformación de un diagnóstico inicial, la proyección del tratamiento, su construcción y puesta en marcha.

2. Objetivos

Objetivo General:

-Intervenir en el proceso de tratamientos de efluentes del Tambo “6 de agosto”

Objetivos específicos:

-Describir la problemática del tratamiento de efluentes en los tambos familiares de la Cuenca Abasto Sur

-Realizar un análisis del uso y manejo del agua en el predio “6 de agosto”, que contemple el manejo de las aguas pluviales de los techos, y la posibilidad de re-uso como agua de lavado de pisos.

- Acompañar el proceso de instalación del sistema de tratamiento de efluentes en el establecimiento.
- Evaluar las posibilidades de implementar el sistema de efluentes desarrollado en otros tambos familiares de la Cuenca Abasto Sur.

3. Materiales y métodos

El trabajo de intervención profesional se enmarcó en el proceso de implementación de un sistema de tratamiento de efluentes del sector de ordeño del tambo “6 de agosto”, en el que participé como pasante. Desde ese rol acompañé el segundo periodo del proyecto, tanto en la construcción del espacio necesario para la implementación del sistema, como en la habilitación del mismo hasta su puesta a punto, quedando pendiente la realización de los análisis que evaluarían su funcionamiento.

Inicialmente se planteó la problemática del manejo de los residuos en los tambos familiares haciendo uso de recursos tales como la revisión bibliográfica y las entrevistas a informantes clave: docentes de la UNLP con experiencia de trabajo junto al sector, extensionistas del INTA, SENASA, y la Secretaria de Agricultura Familiar. Se analizó en el predio “6 de agosto” la influencia del manejo del agua y la intervención de otros factores (como la incidencia de las lluvias), en la producción de efluentes del sector de ordeño. Se describieron las fuentes de agua empleadas para los distintos usos (domésticos y productivos), así como las corrientes de efluentes generadas en el sector productivo: aguas residuales de la sala de ordeño y aguas pluviales de los techos de los edificios circundantes. Se observaron y registraron las prácticas de limpieza del sector de ordeño, con el objetivo de proponer cambios para reducir el consumo de agua.

Luego de la descripción y análisis pasamos a cumplir el objetivo de acompañar al equipo técnico en el proceso de instalación del sistema de tratamiento se acompañó el proceso de instalación del sistema de tratamiento, su puesta a punto a partir del trabajo junto al equipo técnico y se definieron las estrategias para la evaluación del funcionamiento de dicho sistema. A la fecha de presentación del trabajo final, su puesta en marcha recién se había iniciado. Dado que el tratamiento requiere de un tiempo para su normal funcionamiento, no se realizaron los muestreos sobre las aguas tratadas, quedando esto a cargo del equipo técnico para el año próximo. Por último, se indagó sobre la posibilidad de replicar este sistema, frente a situaciones similares en otros sistemas productivos con características afines ubicados en la región.

El trabajo de terreno, se articuló con el Equipo Técnico: profesionales del INTA-IPAF, ILPLA, Docentes y Estudiantes de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales involucrados en el sistema de tratamientos. Se participó en las reuniones periódicas y el acompañamiento del proceso de instalación. Asimismo, se utilizaron técnicas de observación participante (Ander Egg, 1987), en los trabajos cotidianos realizados en el marco del proyecto.

Durante el proceso de tratamientos de efluentes en el predio “6 de agosto” participé en la pasantía denominada “Capacitación en la construcción de un sistema de depuración para aguas residuales del tambo 6 de Agosto” (Exp. 200- 001293/15). En la misma se realizó una capacitación a cargo de técnicos del ILPLA e INTA-IPAF Pampeana en cuanto a conceptos básicos de tratamientos de efluentes en general y en tambos familiares en particular. Se analizaron las principales problemáticas de los tambos en cuanto a características, manejo de efluentes y posibles soluciones.

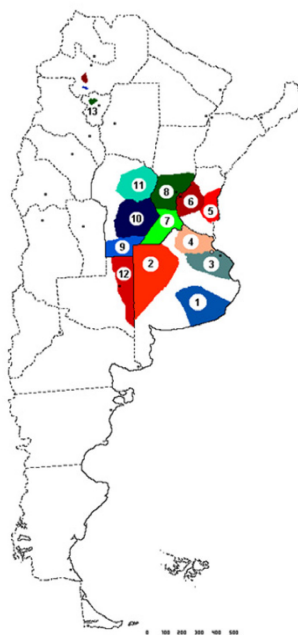
4. Planteo de la problemática

4.1 Contexto donde se desarrolla la intervención

La Argentina se encuentra ubicada en el extremo sur del continente Americano, con una superficie continental de 2.791.810 kilómetros cuadrados. Puede dividirse en grandes regiones geográficas que abarcan desde el clima subtropical al norte del país, hasta el frío húmedo de la cordillera fueguina, pasando por los semiáridos y templados en la zona central. Es precisamente en esta última donde se ubica la Región Pampeana. La Región Pampeana está formada por las siguientes provincias: Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y La Pampa, ocupando una superficie de aproximadamente 500.000 kilómetros cuadrados. Es en esta región donde la producción láctea muestra toda su potencialidad, concentrándose en ella las principales cuencas lecheras y casi la totalidad de los tambos e industrias del sector (Bisang et al., 2003; SAGPyA, 2005).

Las regiones lecheras reciben su denominación según la especialización, quedando conformadas por varias cuencas, ubicadas principalmente en la región pampeana. La figura 1 y la tabla 1, muestran la existencia de las diferentes cuencas lecheras de la Argentina. Es importante destacar que el 55% del abastecimiento de la materia prima proviene de pequeños y medianos tambos que producen un máximo de 4.000 litros diarios, y se reparten principalmente en seis provincias, dotando a la actividad de un importante valor regional por su expansión y su diversidad de actores (Figura 2) (MAGyP, Subsecretaría de Lechería. Estadísticas, 1995)

Figura 1. Cuencas lecheras en Argentina.



Fuente: MAGyP, Subsecretaría de Lechería. Estadísticas, 1995

Tabla 1. Principales cuencas lecheras de Argentina

| <i>Provincia</i> | <i>Cuenca</i> | <i>Región</i> |
|---------------------|--|---------------|
| <i>Buenos Aires</i> | 1. Mar y Sierras 2. Oeste 3. Abasto Sur 4. Abasto Norte | Pampeana |
| <i>Entre Ríos</i> | 5. Cuenca B 6. Cuenca A | Pampeana |
| <i>Santa Fé</i> | 7. Sur 8. Central | Pampeana |
| <i>Córdoba</i> | 9. Sur 10. Villa María 11. Noreste | Pampeana |
| <i>La Pampa</i> | 12. La Pampa | Pampeana |
| <i>Tucumán</i> | 13. Cuenca de Trancas | Extrapampeana |

Fuente: Iturriaga, 2011

Figura 2. Distribución porcentual de la producción de leche en Argentina.



MAGyP, Subsecretaría de Lechería. Estadísticas, 1995

Santa Fe y Córdoba son las principales provincias lecheras del país, tanto por su volumen de producción como por la importancia que tradicionalmente tuvo la actividad en el desarrollo de algunas ciudades. Buenos Aires sigue en importancia en cuanto a la producción de leche cruda y su participación relativa en el total nacional se ha ido reduciendo a favor de la mayor participación de Santa Fe. En Buenos Aires se pueden establecer 4 cuencas lecheras bien delimitadas, las que han sido clasificadas en función de la ubicación de las plantas elaboradoras. Los partidos más importantes son los siguientes: Chascomús, Navarro, Lobos (Abasto Sur); Luján, Mercedes, Suipacha y Chivilcoy (Abasto Norte); Gral. Pinto, Villegas y Lincoln (Cuenca Oeste) y Tandil (Mar y Sierras). Esta región está siendo afectada, al igual que otras zonas, por la reducción en la cantidad de tambos y la tendencia de los establecimientos a desarrollar mayores escalas de producción.

La cuenca del Abasto Sur se encuentra inmersa en la cuenca del Salado, que se caracteriza por suelos en casi su totalidad sódicos e hidromórficos, con horizontes B2t muy arcillosos, representados por natracuales, natracualfes y acuertes. Se exhiben abundantes canales de marea formados en fondo marino reciente, con gran cantidad de depresiones anegadizas. Las limitaciones más importantes del área están originadas por la escasa pendiente, textura arcillosa, alcalinidad y salinidad en superficie, drenaje interno muy deficiente, napa freática alta y salobre, y elevada susceptibilidad al anegamiento, por lo cual el área presenta el menor índice de productividad, lo que lleva a que la actividad productiva predominante sea la cría bovina.

En menor proporción se encuentran suelos de buena o mediana aptitud, asociados a relieves de media loma y loma, los cuales son utilizados para actividades intensivas como la producción lechera y los cultivos de cosecha.

El área presenta un régimen hídrico subhúmedo-húmedo. La precipitación media anual es de 900–950mm. El trimestre más lluvioso es enero-marzo y el de menor precipitación es junio-agosto. La temperatura media anual es de 14.8°C, y el período libre de heladas va de septiembre a mayo (INTA, 2010).

La actividad lechera se concentra en las lomas y medias lomas de la pampa húmeda, dada sus óptimas condiciones de suelo y clima. Las principales cuencas pertenecen a las provincias de Santa Fe, Córdoba, Buenos Aires, Entre Ríos y La Pampa, donde se localizan cerca de 10.500 tambos.

El sector lácteo del país ha sufrido en las últimas décadas un proceso de concentración y especialización de los establecimientos, que se evidencia en una disminución en su número y un aumento en su escala productiva. En la actualidad se distinguen dos grupos: uno de gran eficiencia y fuertes inversiones de capital y otro menos eficiente y de trabajo más intensivo, con menor integración a la cadena comercial de gran escala. Este último, que incluye a los establecimientos familiares, fue el que mayores problemas económico-financieros enfrentó.

Los tambos venden leche fluida a usinas locales (industrias lácteas), pero muchos elaboran derivados lácteos (tambos fábrica), principalmente masa para mozzarella, pero también quesos de pasta dura o semidura. En todos los casos la sanidad del ganado (animales libres de brucelosis, tuberculosis y mastitis) y las condiciones sanitarias de las instalaciones de ordeño y/o elaboración de derivados son fundamentales para la obtención de alimentos seguros y de calidad.

La provincia de Buenos Aires juega un importante papel en la producción nacional de leche, contribuyendo con aproximadamente un 25% de la producción total del país. El número de pequeños productores (1 a 100 cabezas), representan cerca del 30% de los establecimientos, aunque su aporte en cuanto a cabezas de ganado es menor (5,7%) (Bisang, et al 2008). La cuenca de Abasto Sur cuenta con 585 tambos representando el 22% de los tambos de la provincia (MAA, 2010). Esta cuenca es especialmente sensible a condiciones adversas de mercado, ya que en ella prevalecen sistemas de producción intensivos y altamente especializados si la comparamos con otras cuencas lecheras. Por otra parte, esta región tiende a tener costos de producción promedio superiores a los de otras cuencas (Moreira et al, 2004).

La producción media de leche de la zona del Abasto Sur por explotación se ubica en los 1.440 litros; el 84,3% se vende a las industrias como leche fresca, el 10,9% se entrega como masa para elaboración de mozzarella correspondiendo a los establecimientos más pequeños (Arzubi & Berbel, 2003). La productividad por vaca de esta región está sustentada, por el mayor suministro de concentrados, denotando una orientación global de la región hacia este planteo en relación a otras regiones. Ello podría entenderse por la menor capacidad de su recurso suelo y la cercanía de la cuenca al mayor centro de consumo del país, como lo es la ciudad de Buenos Aires. (Arzubi & Schilder, 2006)

Si bien la práctica tambera implica saberes específicos, acumulables en el tiempo, algunos productores la han abandonado (Fabregas & Pérez Frattini, 2009). Por otra parte existen otros que sobreviven comercializando su producción en circuitos marginales, es decir, aquéllos de alcance local o regional en los que se comercializan

productos con escaso valor agregado (leche o "masa" destinada a mozzarella, por ejemplo) y que, en la mayoría de las ocasiones operan fuera de control sanitario. Este tipo de productores, por lo general, cuentan con un bajo nivel de adopción tecnológica, como la inseminación artificial, el enfriado de la leche y la suplementación alimenticia de las vacas, entre otros. Algunas de las causas que fomentaron la inserción de los productores en este circuito fueron la incapacidad de adaptar su sistema productivo a las exigencias tecnológicas de las grandes usinas, el contexto económico sectorial desfavorable de los precios y del valor de los insumos y el alto endeudamiento, entre otros (Barros C. 2005).

Los tambos familiares se caracterizan por ser establecimientos de baja escala productiva, la actividad más importante es la producción de leche y está sustentada principalmente por el trabajo familiar. Aunque la escala de producción es baja algunos productores pueden capitalizarse, pero otros, en cambio, perciben ingresos netos que sólo permiten la reproducción simple de su sistema. El estrato más bajo dentro del sector está representado por productores que pueden llegar a vivir en situación de pobreza y se ven obligados a desarrollar otras estrategias de supervivencia, como el trabajo extra-predial, para permanecer dentro de la actividad (Marino et al., 2011; Obschatko et al, 2007).

Marino et al, (2011) utilizan criterios productivos para caracterizar a los tambos pequeños, entre ellos la baja escala productiva, con rodeos de menos de 100 vacas totales y una producción diaria de leche de hasta 1000 litros. Dentro de la categoría de tambos pequeños los autores definen como microtambos a los establecimientos que cuentan con hasta 20 vacas en ordeño.

Considerando lo expuesto previamente, las características agroecológicas de la cuenca del Abasto sur, los niveles de productividad de dicha región, el proceso de cierre y concentración de los tambos, el escaso poder de negociación de los productores y la persistencia de productores familiares especializados en la producción de masa, resulta que uno de los intereses del trabajo es que el proyecto en el predio "6 de Agosto" pueda ser representativo de pequeños establecimientos de carácter familiar de la mencionada cuenca.

4.2 Tratamiento de efluentes en sistemas de producción lecheros

La historia de la humanidad ha demostrado los estrechos vínculos entre la producción agropecuaria y el ambiente. La intensificación de sus procesos de producción, en general, y de la lechera, en particular, se incrementó en los últimos 50 años, con consecuencias como la contaminación del agua, suelos y aire. El principal problema resulta ser las excretas animales, que se concentran en sectores determinados donde se acumulan nutrientes, microorganismos patógenos y residuos de drogas veterinarias. Éstos llegan por descarga directa, escurrimiento o lixiviación a cuerpos de agua, produciendo su deterioro en calidad y cantidad, lo cual limita su uso.

En la Argentina la información sobre el impacto ambiental de efluentes ganaderos es escasa y tampoco se cuenta con guías o normas específicas para su manejo, tratamiento o disposición (Nosetti et al, 2002). A nivel local existen pocos trabajos que describan la

composición fisicoquímica de las aguas residuales de tambo o que evalúen la eficiencia de los sistemas de tratamiento utilizados. Sin embargo se conoce que los residuos generados en el tambo contienen una importante cantidad de agua proveniente de las diversas operaciones de limpieza, servidas con desechos sólidos (materia fecal, restos de alimentos y barro) y líquidos (orina, restos de leche y soluciones de limpieza del equipo de ordeño) (Herrero, 2010). Las aguas residuales de la producción son en general conducidas a cavas que no fueron diseñadas para tal fin, sino que resultan del movimiento de tierra para la construcción de las instalaciones de ordeño. Carecen de impermeabilización y de taludes inclinados o bordos que eviten la erosión provocada por el aporte de agua de escorrentía, constituyendo así focos de contaminación del agua subterránea (Córdoba, et al; 2014, Moreyra, et al; 2012b). Por todo ello, es necesario proponer sistemas de depuración alternativos que sean versátiles y accesibles para el sector, que signifiquen un aporte a la mejora de la calidad de vida de los pobladores y la sanidad de los productos elaborados.

Una de las problemáticas que atraviesan los productores lecheros en general, y en particular los familiares, es la contaminación de las fuentes de aguas, de las cuales se proveen para abastecerse, tanto para consumo animal como para el humano. La calidad del agua de consumo es motivo de preocupación por la salud de la población rural, pero como generalmente se extrae de la misma fuente, en el caso de los tamberos también preocupa por la salud y nutrición de los animales, y por la higiene de las instalaciones de los tambos para la calidad de la producción (Herrero, et al. 2009). A esto se suma la importancia relacionada con su devolución al ambiente circundante, sobre todo en los casos en que los tambos se encuentren cerca de poblados. En cuanto al manejo de las aguas residuales, la práctica comúnmente observada en los tambos de pequeña y mediana escala consiste en la acumulación de los efluentes en lagunas poco profundas, situadas a poca distancia de las instalaciones de ordeño y de las viviendas. Es así que los pobladores conviven en un ambiente con olores ofensivos, moscas e insectos vectores de enfermedades y tienen que lidiar con situaciones como el rebalse de las lagunas en épocas de lluvia. Los problemas de tratamientos de efluentes de los productores familiares es parte de un problema mayor, asociado al manejo integral del agua en el predio. De esto se desprende un mal estado o mala concepción de las infraestructuras de captación, almacenamiento y distribución de agua, así como la disposición de los efluentes que repercuten luego en la calidad de agua para su consumo (Cordoba et al, 2014). A ello se le suma sistemas sanitarios muy elementales (letrinas o pozos absorbentes) que no acceden a los sistemas de saneamiento centralizados (redes cloacales) y perforaciones precarias para la captación de agua subterránea. Numerosas investigaciones dan cuenta de la problemática mencionada. A partir de muestras de aguas en áreas periurbanas, los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos indicaron la presencia de bacterias coliformes, arsénico y nitratos por encima de los valores límite considerados para la clasificación del agua como potable (según el Código Alimentario Argentino) en localidades que comprenden la cuenca abasto sur (Aliverti, 2014). A su vez, se registraron casos en los cuales, si bien los valores eran inferiores a los límites de tolerancia, estaban cercanos a los mismos. La presencia de coliformes y nitratos se asocia con contaminación con aguas cloacales depositadas en proximidades de la perforación para captación de agua de consumo (Custodio y Llamas, 1983)

Las aguas contaminadas no sólo afectan a los habitantes del lugar sino que, escurriendo tanto por los arroyos como por el subsuelo, vuelcan en la ribera del Río de la Plata, ampliando el área de contaminación y afectando esta importante fuente de agua dulce.

La actividad de los tambos, al ser establecimientos dedicados a la fabricación de alimentos, está regulada a nivel nacional por el Código Alimentario Argentino (Código Alimentario Argentino, 2006). El Código establece algunos criterios para el manejo de las aguas residuales:

En el artículo N° 59 se plantea que *“Es obligatoria la higienización del local de ordeño y dependencias para los terneros, después de cada operación; las demás dependencias deben higienizarse por lo menos una vez por día. Los residuos y desperdicios deben depositarse en un estercolero de construcción aprobada por la autoridad competente.”*

En el artículo N° 37 se establecen las condiciones que deben reunir el local de ordeño, entre ellas tener *“piso impermeable con pendiente suficiente hacia la cámara interceptora (estercolero), el que debe estar a un nivel más elevado que los terrenos circundantes.”*

Artículo N° 44 *“En caso de no existir estercoleros convenientemente contruidos, con cierre hermético, será obligatorio extraer diariamente el estiércol y demás residuos, trasladándolos a una distancia de 50 m del local de ordeño, tomándose las medidas necesarias para evitar la propagación de las moscas.”*

La Ley 5.965 de la provincia de Buenos Aires prohíbe el envío de efluentes residuales sin previo tratamiento de depuración a toda fuente, curso o cuerpo receptor de agua, que signifique una degradación o desmedro de las aguas de la provincia. Los sistemas de depuración de aguas residuales pecuarias de la Provincia de Buenos Aires deben ajustarse a los lineamientos de la resolución N° 336/03 de la Autoridad del Agua, que establece los parámetros de calidad y límites admisibles de descarga de efluentes industriales a distintos cuerpos receptores. Sin embargo esta situación no se da habitualmente, siendo escasos los tambos pequeños y medianos que cuentan con tratamiento de los efluentes que genera. Un estudio realizado en el año 2009 en cuencas lecheras de la provincia de Buenos Aires (Oeste, Abasto Sur y Abasto Norte) identifica que el 58,53% de los sistemas productivos derivan los desechos a lagunas artificiales y de éstos, el 80% elimina los líquidos finales de las lagunas en algún curso de agua (Herrero et al, 2009). Se observa un gran impacto en los ecosistemas acuáticos, mayormente cuando el efluente llega sin ningún tratamiento a los cursos de agua o con altas cargas orgánicas, pudiendo incrementar la presencia de contaminantes como por ejemplo: fósforo, nitratos, patógenos y drogas de uso veterinario (Nosetti et al., 2002b).

En las diferentes regiones de producción lechera de la provincia de Buenos Aires existen diferentes situaciones de vulnerabilidad ambiental. En la Oeste los suelos arenosos favorecen procesos de lixiviación, en Abasto Sur existe una extensa red de arroyos y problemas de inundaciones frecuentes y ascenso de napas freáticas en épocas lluviosas. Esta última situación favorece la contaminación por contacto con pozos negros y lagunas de efluentes, (Nosetti et al., 2001; Galindo et al., 2004), ocurriendo ésta situación también en Abasto Norte.

Los problemas hallados de contaminación de aguas, a escala predial y regional, la falta de sistemas de tratamiento de efluentes eficientes y de manejo del estiércol y el uso de antibióticos y sus consecuencias ambientales y sanitarias, no se pueden abordar exclusivamente sin considerar un manejo integral de los predios. Este manejo se basa en el abordaje temprano, y en conjunto, de ciertos aspectos críticos como la alimentación animal, la eficiencia de los procesos de tratamiento y reúso del estiércol y efluentes, que permitan evitar los impactos ambientales y sanitarios que afecten la salud de la población rural (animales y humanos), produciendo además alimentos con calidad e inocuidad.

De acuerdo a lo analizado hasta el momento, resulta evidente que uno de los principales problemas asociados a la intensificación de los sistemas de producción primaria, es el incremento de la cantidad de excretas. En consecuencia, la necesidad de realizar el correcto manejo de estos residuos es un aspecto fundamental para lograr la sustentabilidad ambiental de los sistemas de producción animal lechera intensificados. Para comprender esta situación basta decir que un tambo de 400 vacas en ordeño genera una contaminación localizada equivalente a 500 seres humanos (Taverna et al., 2004).

Los tambos de baja escala de la agricultura familiar se caracterizan por la íntima relación entre la unidad doméstica y productiva. Los productores en general residen en el predio productivo y las prácticas de manejo de las aguas residuales y residuos pecuarios, afectan directamente a la calidad de agua para fines múltiples así como las condiciones de hábitat.

Los residuos generados en las instalaciones de ordeño presentan diferentes características y se pueden agrupar en diversas fracciones. Por ejemplo, están los efluentes líquidos (también denominados “purines”), que corresponden a excretas (heces y orina) recolectadas con agua de lavado, restos de alimentos, restos de leche y soluciones de limpieza del equipo de ordeño y tanque de refrigeración y, barro, que se disponen en un sistema de tratamiento, caracterizándose por tener un porcentaje de materia seca menor al 10% (Aguirre, 1999). También está el estiércol, que constituido por excretas sólidas recolectadas de corrales o de separadores en el tratamiento primario o de animales estabulados y que tienen un porcentaje de materia seca cercano al 20% y un excelente potencial para ser utilizados como abono. Por otra parte existe una categoría que algunos denominan “mixtas”, y que resultan provenientes de animales confinados sobre pisos en los cuales se ha drenado el líquido y el mismo es colectado en algún punto del sistema (Burton y Turner, 2003). El tratamiento de estos residuos, en general, consiste en eliminar la carga orgánica que contienen. Los sistemas existentes varían sustancialmente entre tipos de producción, regiones y países, identificándose en Europa siete formas de manejo para ponedoras y bovinos lecheros, y treinta y cinco para porcinos (Menzi, 2002).

En los tambos, los efluentes provienen de la limpieza de instalaciones con agua, tratándolos generalmente en lagunas de estabilización. Por ejemplo, en Holanda, una parte de los tambos inyectan sus efluentes a la red cloacal, otros descargan a instalaciones de tratamiento o directamente a cuerpos de agua superficial y suelos (Willers et al., 1999). En países en los cuales existen reglamentaciones que impiden el vertido a cuerpos de agua, la estrategia es su reutilización como fertilizantes. En los que

no existe una reglamentación clara al respecto, como en Argentina, es frecuente el vertido a cursos de agua en forma directa o indirecta, como se determinó en un estudio realizado en 40 tambos de Buenos Aires, donde el 50% eliminaba directamente los efluentes generados a cursos de agua próximos (Nosetti et al., 2001).

En Argentina, los escasos estudios realizados, muestran una gran variabilidad en los métodos de tratamiento de efluentes empleados y un excesivo uso del agua de lavado que diluye a la fracción sólida, rica en nutrientes (Taverna et al., 2004; Salazar Sperberg et al., 2010). Por otra parte, no existe información fehaciente del destino final de los efluentes y hasta el momento su eliminación, en general, ha consistido en conducirlos a algún tipo de laguna artificial, o a su vuelco directo sin tratamiento (Nosetti et al., 2001), donde en ambos casos, se realiza su posterior vertido a algún curso de agua. Actualmente se cuenta con poca información sistematizada (Nosetti et al. 2001; Taverna et al., 2004) que permita conocer y definir, cuál es el manejo, que realizan los productores en las diferentes cuencas lecheras, de los efluentes que se generan en las instalaciones de ordeño. Tampoco existen guías o normas específicas para el manejo de efluentes en predios lecheros, adaptadas a la realidad local.

Los efluentes no son considerados en los planes de intensificación de los predios y solo son tenidos en cuenta cuando los productores se sienten literalmente “rebalsados” (Herrero et al., 2009), es entonces que resulta fundamental caracterizarlos para evaluar las posibilidades de su tratamiento y disposición, en armonía con la sustentabilidad de los recursos naturales y considerando los aspectos sanitarios relevantes a la salud de la población.

Lamentablemente en la Argentina y en otros países de Sudamérica, prácticamente no se realizan encuestas a escala de predio de manera oficial que permita conocer estas cuestiones de manejo, (Salazar Sperberg et al., 2010), ni se realizan estadísticas sobre estos temas que puedan ser de utilidad para comprender procesos y diseñar políticas públicas.

Con el fin de formular propuestas para el manejo sustentable de los establecimientos productivos de una región determinada, se requieren datos logrados en estudios locales. Los problemas ambientales se incluyen en el área denominada de los "problemas globales" (Sábato, 1980). Estos problemas deberían ser resueltos en cada región, requiriendo de la cooperación entre aquellos afectados por la misma problemática, y encarándose en forma interdisciplinaria, donde cada aspecto (el agua, los efluentes, el manejo productivo) constituirá un aporte a la solución global.

En Argentina existen escasos estudios sobre la temática, abordando algunos de los aspectos de manera independiente. Sin embargo, en general coinciden en que el vertido a cuerpos de agua de aquellos efluentes con tratamiento insuficiente y la contaminación de acuíferos en las zonas de producción, generan un serio impacto ambiental, afectando directa o indirectamente la salud de la población.

Esta situación plantea la necesidad de generar aportes fundamentales a la prevención y protección del medio ambiente en las áreas rurales dedicadas a la producción de leche en Argentina, con especial énfasis para las cuencas lecheras de la provincia de Buenos Aires.

Los escasos tratamientos que existen en nuestro país son realizados por grandes productores y en menor medida medianos, quedando excluidos del sistema los pequeños productores ya sea por falta de asesoramiento de información o principalmente económico. Por otra parte los modelos existentes de tratamientos de efluentes están diseñados para gran escala implicando un alto costo.

Mediante un análisis podemos ver que surgen diferentes problemas:

- a) la falta de mapas regionales que aporten información sobre la calidad de las aguas subterráneas para que los establecimientos productivos puedan conocer su situación;
- b) las insuficientes propuestas de cómo se pueden reutilizar las aguas residuales y el estiércol en sectores productivos de baja escala considerando su condición higiénico-sanitaria;
- c) la falta de definición de aquellos factores de riesgo de contaminación en la región, que permitan diseñar políticas de control de estos efluentes y de prevención de contaminación de acuíferos y aguas superficiales;
- d) la ausencia de una caracterización de la situación actual del manejo de las aguas residuales en los tambos, siendo ésta información fundamental para que se pueda evaluar el cumplimiento de las incipientes normas de manejo que están siendo aplicadas en las diferentes provincias,
- e) la insuficiente información que permita abordar el uso y manejo del agua y de los efluentes, dentro de un enfoque integrado.

Es en este contexto, en el cual éste trabajo, con los problemas descriptos, surge con el propósito del diseño de estrategias de transferencia que promuevan prácticas de manejo para lograr sistemas agropecuarios sustentables, pudiendo ser insumo para la creación de estrategias educativas que sirvan para la gestión de los recursos hídricos en zonas de actividad agropecuaria y agroindustrial.

Evaluando las consecuencias ambientales y sanitarias originadas por los procesos de intensificación en la producción primaria de leche en tambos comerciales de la región productiva más importante de la Argentina, surge desarrollar una propuesta de manejo integral del agua y de los residuos generados.

Considerando las condiciones de vida de los productores agropecuarios, es muy importante proponer tecnologías sencillas, confiables, económicas y versátiles para que cumplan su función y puedan ser desarrolladas por la comunidad. Deben ser de fácil construcción, de bajo requerimiento de tiempo y mano de obra para su operación y mantenimiento, y que su construcción pueda realizarse con materiales de fácil acceso. Los tratamientos naturales de efluentes, en este sentido, contribuyen a mejorar la condición sanitaria del ambiente y en particular del agua subterránea que es bombeada para su consumo. La tecnología de humedales construidos, reproduce en un espacio

confinado, los procesos que ocurren en los ecosistemas acuáticos naturales. Una comunidad de plantas acuáticas y los microorganismos asociados a la zona radicular, metabolizan y absorben los contaminantes del agua, generando un efluente con calidad aceptable para ser infiltrado en el suelo o volcado en los cuerpos de agua receptores. Se busca un tratamiento natural de aguas residuales considerando el reúso de efluentes y la devolución al ambiente de aguas tratadas naturalmente para que estén en condiciones de no afectar la calidad de las aguas subterráneas, en sistemas productivos y habitacionales de los agricultores familiares en región pampeana. Éste, es un modo de abordar el problema identificado en el terreno respecto de la alta vulnerabilidad de las familias agricultoras y sus producciones debido a su exposición a la contaminación bacteriológica y de nitritos y nitratos del agua que consumen. El tratamiento de las aguas residuales debe ser entendido, como una necesidad, a fin de mantener condiciones adecuadas de salud e higiene para la población, conservar la calidad de las fuentes de agua y propender a un uso racional y sustentable de los recursos acuáticos. (Herrero, 2014)

4.3 El predio “6 de agosto” como sistema productivo a desarrollar el trabajo de intervención profesional

El predio “6 de agosto” ubicado en el periurbano de la ciudad de Berisso (Buenos Aires, Argentina) es un establecimiento en el cual se desarrollan proyectos de producción láctea y de hortalizas con una perspectiva social y ambiental. En el mismo participan docentes, estudiantes de agronomía (pasantes) y otras carreras afines, una trabajadora no docente de la facultad y vecinos del barrio Villa Argüello. La producción de leche actualmente es utilizada para trabajos de investigación y docencia en actividades académicas en la Cátedra de Agroindustrias, otra es industrializada por vecinos del barrio para consumo en forma de queso y gran parte se destina a comedores de distintos barrios de la ciudad, cumpliendo de esta manera un doble rol el de producir con fines educativos y sociales. En cuanto a su estructura productiva el predio se asemeja a la de pequeños productores familiares lecheros de la Cuenca de Abasto sur, la cual comprende La Plata y partidos vecinos (San Vicente, Magdalena y Brandsen), de los cuales muchos de ellos se encuentran en zonas periurbanas similares a las planteadas en este caso.

En el mismo, diariamente se ordeña entre 8 y 12 vacas en una sala con dos bretes a la par y piso de cemento alisado. Luego de la rutina de limpieza, que comprende lavado de la máquina de ordeño, recipientes y pisos, el agua es conducida por canaletas y cañerías plásticas, hasta una zona baja situada a 20 metros de la sala de ordeño. Esta práctica no se adecua a la normativa provincial, que prohíbe la descarga de efluentes sin tratamiento previo, ni a la legislación nacional que regula la elaboración de alimentos (Código Alimentario Argentino) que exige a los tambos, en el caso de no contar con una cámara interceptora hermética, transportar los residuos a una distancia de 50 metros del local de ordeño.

Considerando la baja escala productiva y las limitaciones económico-financieras y de infraestructura de los pequeños tambos (Marino et al, 2011) como el “6 de agosto”, es importante proponer tecnologías de depuración sencillas, versátiles y económicas, que

permitan mejorar la calidad de vida de los pobladores y asegurar la sanidad de los productos elaborados. Las tecnologías de depuración no convencionales son de simple operación, bajo mantenimiento, no requieren de una fuente de energía externa y se integran al paisaje rural, en donde se dispone de espacio suficiente para su emplazamiento. El uso de recursos locales y la posibilidad de incluir a la comunidad en la construcción, operación y mantenimiento hace de estos sistemas una alternativa tecnológica posible para depurar las aguas residuales de pequeños tambos.

Entre la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF-UNLP), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Instituto de Investigación y Desarrollo tecnológico para la Agricultura Familiar de Región Pampeana (IPAF RP-INTA) y el Instituto de Limnología “Dr. Raúl A. Ringuelet” (ILPLA), se está realizando una experiencia en el predio “6 de agosto” para evaluar un sistema de depuración basado en humedales construidos para depurar las aguas residuales del tambo allí existente (Córdoba et al, 2014). El objetivo de la misma fue desarrollar y aplicar técnicas simples y económicas para la depuración de dichas aguas residuales. En este sentido se está en proceso de construcción de un sistema de tratamientos de los efluentes que genera el tambo del mencionado predio.

Como se desprende de los objetivos enunciados, este proyecto busca realizar una validación de tecnologías apropiadas para los tambos familiares de la región pampeana, con especial énfasis en la Cuenca Abasto Sur. El diseño del sistema es solo un primer paso dentro del proceso de validación tecnológica, que se complementa y se ve sujeto a revisiones y modificaciones a partir del intercambio de saberes con los productores familiares.

5. Diagnóstico

5.1 Diagnóstico de la situación inicial

Se analizó cual es el tratamiento de los efluentes actuales del tambo “6 de agosto” en base a la observación, entrevistas a las personas que trabajan allí y posteriores cálculos realizados en base a bibliografía específica. De las entrevistas se pudieron obtener datos concretos, tales como la cantidad de vacas en ordeño y su variación durante el año, cómo se realiza la rutina de ordeño, cuántas veces al día, los diferentes usos del agua para limpieza y de dónde proviene la misma. A continuación se detalla cada uno de los elementos relevados a los fines de comprender el análisis integral del agua en el tambo, tomando en cuenta la generación de efluentes y su destino.

Fuentes de agua de limpieza

El tambo cuenta con conexión al servicio de agua potable municipal, que abastece a la casa de la auxiliar no docente y a un sector de la sala de ordeño. También captan agua subterránea mediante una perforación de 12 m de profundidad y una electrobomba de 3.600 L/h (Figura 3).

Figura 3. Bomba de captación de agua subterránea.



Rutina de limpieza

El ordeño se realiza una vez por día, por la mañana. La cantidad de vacas en ordeño varía entre 8 y 12, y la producción de leche promedio es de 15 Lts/vaca.

Después del ordeño los restos de bosta y alimento balanceado que se depositan en el piso son barridos, procurando que no se acumulen en la canaleta que corre por el frente de la sala.

Para la limpieza de la máquina de ordeño se usan baldes, uno con una solución de agua fría y detergente y otro, con agua potable proveniente de la red (Tabla 2). Se emplean dos baldes por cada bajada (4 en total).

Tabla 2. Productos empleados en la limpieza de la máquina de ordeño y frecuencia de uso.

| Frecuencia de uso | Producto de limpieza |
|--------------------------|------------------------------------|
| Todos los días | detergente comercial |
| Semanalmente | Desincrustante ácido no espumígeno |
| Cada dos meses | detergente alcalino |

Fuente: Córdoba, 2013

Las bajadas de la máquina se introducen en la solución con detergente y se acciona la bomba de vacío. Esto permite limpiar los restos de leche de las pezoneras y línea de leche (Figura 4), para ser recolectados en el tarro de ordeño. Tanto las pezoneras como los tarros son cepillados para eliminar impurezas aprovechando la solución de limpieza con detergente.

Figura 4. Limpieza con agua y detergente, cepillado de las pezoneras y tarros de leche.



La solución de limpieza con restos de leche contenida en los tarros se vierte en el piso y empleando una escoba se eliminan los restos de bosta, tierra y alimento balanceado (Figura 5).

Figura 5. Barrido del piso de la sala previo al enjuague con manguera.



Los tarros son enjuagados en una canilla conectada al servicio de agua potable municipal. Los efluentes del enjuague de los tarros corren por la canaleta posterior.

La encargada, efectúa un barrido eliminando los restos de bosta, tierra y alimento balanceado que cae de los comederos cuando los animales lo consumen, durante el ordeño. Luego aplica al piso una solución de detergente, la misma que utiliza para

limpiar las pezoneras y mangueras, después barre el piso húmedo. El enjuague del piso de la sala se efectúa con una manguera conectada a una electrobomba (figura 6), que extrae agua del pozo de captación. La pendiente del piso con caída hacia ambos lados, conduce las aguas de limpieza por las dos canaletas (Figura 7).

Figura 6. Enjuague de los pisos con manguera conectada a la bomba de captación de agua subterránea.



Figura 7 Vista de las canaletas de desagüe que corren por el frente (izquierda) y detrás (derecha) de la sala de ordeño.



Consumos de agua de limpieza

A partir de los relevamientos realizados por Córdoba (2013) durante la rutina de limpieza de la sala de ordeño se estimó un consumo de agua de 0.226 m³/d. (Tabla 3). El caudal diario parece no estar influenciado por la cantidad de vacas en ordeño, ya que se estimaron los mismos volúmenes con diferente cantidad de animales.

Tabla 3. Consumos de agua de limpieza según fuentes empleadas.

| Fuente | Volumen (m³) |
|------------------|--------------------------------|
| Bomba (manguera) | 0,180 |
| Canilla | 0,006 |
| Baldes | 0,040 |
| TOTAL | 0,226 |

Fuente: Córdoba, 2013

Este volumen, expresado en litros por vaca en ordeño varía entre 32 y 57 L/V.O., según la cantidad de animales ordeñados. Dichos valores son mayores a los reportados por otros autores para efluentes de sala de ordeño (14 a 19 L/V.O.), siendo similares (50 L/V.O.) a los utilizados como guía para diseño de sistemas de tratamiento de efluentes de tambo (que incluye el agua de limpieza de corrales y aportes de la placa de refrescado) (Nosseti et al. 2002a). Según algunos autores, el consumo de agua no guarda relación al número de animales y estaría influenciado por la rutina y tipo de ordeño (Dairy Australia, 2008).

En el caso del tambo, el consumo de agua se relaciona a la superficie de la sala de ordeño, que es siempre la misma y es barrida antes de la limpieza, por lo que la cantidad de sólidos acumulados en el piso no varía de acuerdo al número de animales ordeñados. La igualdad de caudales medidos puede deberse a que la tarea de limpieza la realiza siempre la misma persona y de forma rutinaria desde hace mucho tiempo.

Hawkins y Eng (2011) citan que para tambos de menos de 30 V.O y ordeño a tarro, los consumos de agua son de 0.250 m³/d, similares a los medidos en el tambo “6 de agosto”.

En la figura 8 se muestra la disposición y dimensiones de las instalaciones del tambo. La sala de ordeño de 41,5 m² cuenta con piso de cemento impermeable y dos bretes a la par (Figura 9), que permite el ordeño de dos vacas por turno. Las aguas residuales de limpieza son colectadas por dos canaletas, ubicadas a ambos lados de la sala de ordeño, que recorren 20 metros y desembocan individualmente en cámaras de inspección, para finalizar en una zanja que posee una plantación de sauces (Figura 10). Se observa que la canaleta del frente está deteriorada, ya que el paso de los animales removió el recubrimiento de cemento, dejando expuestos los adoquines con los que fue construida originalmente, por lo que parte del agua y los sólidos se pierden por infiltración. En la canaleta posterior se observa el estancamiento del agua en una fisura de la carpeta de cemento, pero al parecer no presenta filtraciones (Figura 7).

Figura 8. Disposición y dimensiones de las instalaciones de ordeño y las estructuras de conducción de las aguas residuales.

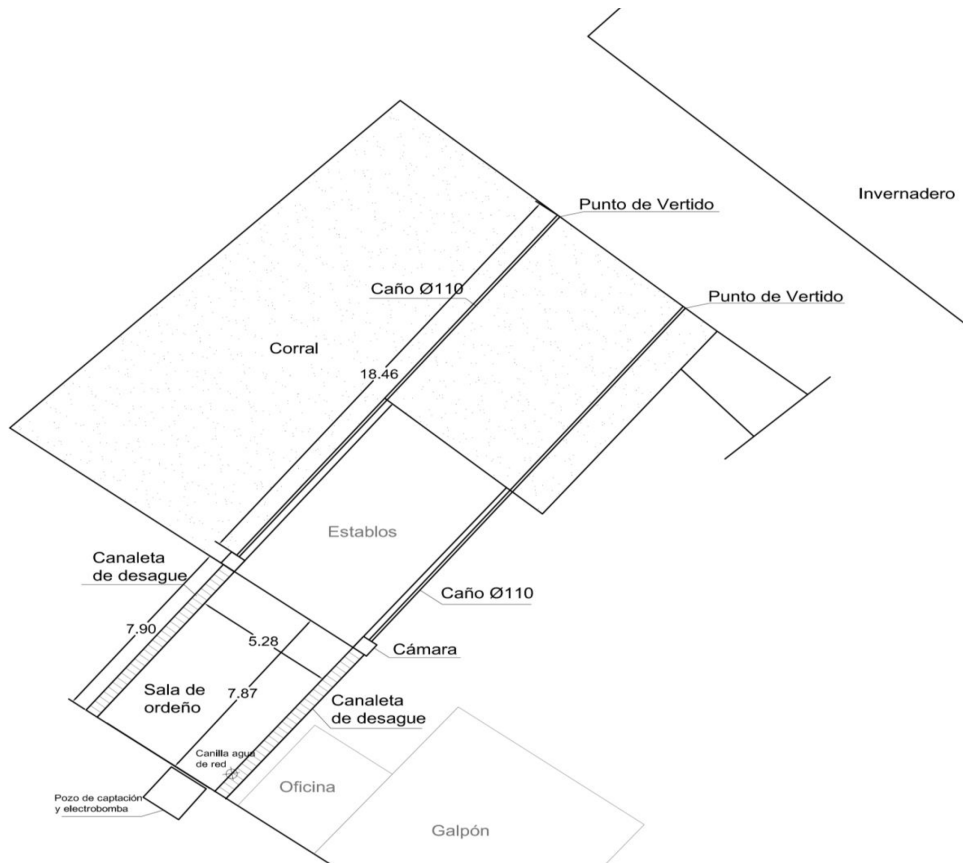


Figura 9. Vista de la sala de ordeño, con dos bretes a la par y piso de cemento. También se observa los tarros de leche y las bajadas de la máquina de ordeño.



Figura 10. Cámara de inspección (izquierda), Zanja (medio) y vista frontal de la zanja (derecha).



Además del agua residual de la limpieza de las instalaciones, se le suma a la misma un importante volumen recolectado de agua de lluvia por los techos de la sala de ordeño y sitios aledaños, los cuales gran parte de ellos no poseen canaletas cayendo todo al mismo sistema mezclándose con los efluentes. A partir de esto, para poder evaluar el tratamiento de efluentes en sí, surge como posible solución, el dimensionamiento de canaletas, la colocación de las mismas de todos los techos y pensando en poder almacenar el agua de lluvia en tanques para un posterior reuso en la rutina de limpieza de los pisos de la sala de ordeño y poder así disminuir la cantidad de agua potable demandada para la limpieza posterior al ordeño.

Destino final de los efluentes

Posterior al ordeño, los residuos generados contienen una importante cantidad de agua proveniente de las diversas operaciones de limpieza, servidas con desechos sólidos (materia fecal, restos de alimentos y barro) y líquidos (orina, restos de leche y soluciones de limpieza del equipo de ordeño). Luego esos efluentes continúan por dos caños de PVC que tienen una longitud aproximada de 20 m, donde previamente poseen una cámara de retención que actúa como trampa de arenas y sólidos (estiércol y alimento balanceado). Finalmente terminan hacia una zanja donde se encuentran en contacto con una plantación de sauces, siendo el objetivo de los mismos, absorber esos efluentes generados y proveer sombra durante el verano a los animales mientras se encuentran en el corral de espera para el ordeño. Además de las entrevistas y observación, surge que toda el agua residual luego de cada rutina de ordeño es conducida por canaletas hacia una zanja donde no posee ningún tipo de tratamiento y permanece allí por tiempo indeterminado, eliminándose por infiltración y lixiviación (Figura 10).

Unas de las problemáticas que surge de este tipo de tratamiento, es el tiempo de retención en que se encuentran los efluentes hasta que son absorbidos por las raíces de los árboles, generándose una saturación del sistema donde se produce un rebalse y los fluidos terminan derivándose hacia otros lugares fuera del tratamiento, incluso infiltrándose hacia la napa. A su vez la misma se encuentra a muy poca profundidad y en las épocas donde se dan gran cantidad de precipitaciones los efluentes quedan en suspensión, provocando un ambiente con olores ofensivos, moscas e insectos vectores de enfermedades.

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales

En el marco del trabajo final no se realizó un muestreo de los efluentes generados, sin embargo, Córdoba (2013) llevó a cabo un análisis minucioso de los mismos en el Laboratorio de Microbiología del ILPLA (CONICET-UNLP). Se considera que los resultados obtenidos en ese entonces se asemejan a los actuales, dado que no ha habido cambios en cuanto a la rutina de ordeño ni de limpieza.

En la tabla 4 se detallan los valores de los componentes más importantes encontrados en los análisis realizados, entre ellos materia orgánica (DBO¹, DQO²), nutrientes (fósforo y nitrógeno), salinidad, contenido de sólidos y bacterias que indican contaminación fecal. Tabla 4. Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos sobre muestras de las aguas residuales en el punto de vertido a la zanja con sauces.

¹ La DBO es una medida empírica en la cual a partir de procedimientos estandarizados de laboratorio se determinan el consumo de oxígeno en aguas residuales partir del metabolismo aeróbico de los microorganismos (oxidación bioquímica) a través del cual la materia orgánica es oxidada a CO₂ cediendo sus electrones al O₂. Método 5210-Método de la dilución (Standard Methods)

² La cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua". La DQO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l).

| Parámetros | 13/08/2013 | 28/08/2013 |
|---|------------|------------|
| | Valores | Valores |
| DQO (mg/L) | 840 | 681 |
| DBO ⁵ (mg/L) | - | 129 |
| pH | 7,5 | 7,9 |
| CE (μS/cm) | 1700 | 1800 |
| Sólidos sedimentables 10 min (ml/L) | 3,5 | 4,5 |
| Sólidos sedimentables 2 hs. (ml/L) | 4,6 | 7 |
| Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) | 1188 | 1050 |
| Sólidos Suspendidos Volátiles (mg/L) | 414 | 374 |
| Sólidos Suspendidos Fijos (mg/L) | 774 | 679 |
| Nitrógeno Total Kjeldhal (mg/L) | - | 28,6 |
| Nitrógeno Amoniacal | - | 3,4 |
| Fósforo Total (mg/L) | - | 6,4 |
| Fósforo de Fosfato (mg/L) | - | 1,6 |
| Bacterias coliformes totales (NMP/100 mL) | - | 1.100.000 |
| Bacterias coliformes termorresistentes (NMP/100 mL) | - | 1.100.000 |

Fuente: Córdoba, 2013

De acuerdo al análisis, el efluente se caracterizaba por tener un color verde claro, con agregados de partículas en suspensión y una fracción mineral de sólidos sedimentados. La carga orgánica, medida como DBO⁵, fue de 129 mg/L, valor significativamente menor al reportado por otros autores, atribuido al mayor uso de agua que en otros tratamientos (Córdoba, 2013). Se observó un bajo contenido de materia orgánica, que representa en promedio el 32,1% de los sólidos totales, lo que indica que los sólidos presentes son en su mayoría inorgánicos de baja degradabilidad (Cordoba, 2013).

6. Proyecto de intervención

6.1 Descripción de los humedales

Los humedales de flujo superficial (HFS) o flujo libre son lagunas impermeabilizadas de escasa profundidad (0,30 a 0,50 m) sembradas con plantas emergentes, sumergidas y/o flotantes, donde el flujo preferencial del agua es en sentido horizontal respecto a la superficie. Los humedales de flujo subsuperficial (HFSS) se diferencian por estar rellenos con un material filtrante (suelo, arena, grava, piedra). El agua se mantiene unos centímetros por debajo del nivel del medio filtrante, gracias a estructuras de control de nivel situadas en la salida. Estos sistemas pueden diseñarse para que el agua fluya en sentido horizontal, vertical ascendente o descendente. Los humedales pueden ser

alimentados de forma continua o de a pulsos, en este caso el medio granular no está permanentemente saturado. Las raíces de las plantas se desarrollan y ocupan la porción superior del medio granular. Por último, los sistemas híbridos son combinaciones en serie de distintos tipos de humedales, diseñados para lograr una mayor eficiencia en la eliminación de materia orgánica y nutrientes (principalmente nitrógeno).

Los HFSS podrían ser definidos como reactores anaeróbicos con una alta superficie específica, sembrados con macrófitos emergentes. Al funcionar en régimen de saturación permanente, prevalecen condiciones anaeróbicas y anóxicas, por lo que las tasas de degradación de materia orgánica son bajas y en general no se logran efluentes nitrificados (EPA, 2000).

La principal ventaja de los HFSS respecto a los de flujo libre, radica en que el agua no está expuesta a la atmósfera, por lo que se reduce el riesgo de contacto de personas y animales con organismos patógenos y a su vez se previene desarrollo de vectores de enfermedades como mosquitos. Comparado a los humedales de flujo libre, el área de contacto del agua con las bacterias y el sustrato de relleno es mucho mayor, por lo que los requerimientos de superficie de implantación son menores (Vymazal, 2010). Sin embargo, la necesidad de un material de relleno aumenta los costos de construcción (EPA, 2000). A los fines del trabajo se evaluaron las diferentes alternativas y se consensuó, construir un sistema de tratamiento de humedales de flujo subsuperficial (HFSS) dado las ventajas antes descriptas y las condiciones que presenta el lugar.

Los componentes principales de los sistemas de humedales de flujo sub superficial incluyen:

Cava o celda impermeabilizada: La forma de las cavas suelen ser rectangulares o cuadradas, con profundidades comprendidas entre los 0,30 y 1,8 m. Estas deben estar aisladas del sustrato natural, para evitar el contacto del agua residual con el medio circundante, en especial el lixiviado de contaminantes hacia la napa freática. Tanto los taludes laterales como el fondo de la cava deben impermeabilizarse, para lo cual pueden emplearse membranas sintéticas, como las membranas plásticas de polietileno de alta densidad con espesores de 0,5 a 10 mm o membranas de PVC. También puede aplicarse una capa de arcilla compactada. Los suelos con porcentajes de arcilla superiores al 15% suelen ser aptos para el sellado de las cavas. (USEPA, 2000)

Medio granular o filtrante: Se puede optar por una gran variedad de sustratos. Estos deben estar limpios (sin materiales finos), ser homogéneos, duros, durables y capaces de mantener su forma a largo plazo (García y Serrano, 2008). La permeabilidad del medio filtrante, determinada por su espesor y porosidad efectiva, es un aspecto de diseño crítico, ya que condicionará el comportamiento hidráulico del sistema. Entre los sustratos empleados como relleno se incluyen: suelo, arena, gravas, rocas partidas, materiales orgánicos (turba, aserrín) y otros materiales sintéticos. Se pueden alternar capas de distintos materiales para modificar el patrón de flujo hidráulico en distintas zonas del humedal, para retener nutrientes como fósforo o incorporar sustratos para favorecer el establecimiento de las plantas.

Plantas: las plantas juegan un papel fundamental en la degradación de los contaminantes que ingresan al humedal. Las raíces penetran y colonizan los primeros centímetros del medio (10 a 40 cm) aumentando la capacidad filtrante del relleno y generando sustratos para el desarrollo del biofilm (Kadlec y Wallace, 2009).

El metabolismo de las plantas genera alteraciones en las condiciones redox en las inmediaciones de las raíces, favoreciendo el crecimiento de bacterias aeróbicas. Una cantidad significativa de oxígeno se transporta a través de los tejidos especializados de los tallos de las plantas (aerénquima) hacia la zona radicular. Otros gases, como CO₂ y CH₄ son transportados por las plantas en sentido contrario hacia la atmósfera (Kadlec y Wallace, 2009). La mayor parte del oxígeno transportado hacia las raíces es consumido en el proceso de respiración celular de la propia planta. Sin embargo, el exceso de oxígeno podría difundir a través de los tejidos hacia las inmediaciones de las raíces (efecto denominado ROL= Radial Oxygen Loss), generando microambientes ricos en oxígeno que permitirían los procesos de nitrificación, mientras que la desnitrificación podría ocurrir en zonas cercanas, en el espacio microporal a sólo unos milímetros de distancia. El intercambio de sustratos e intermediarios a través de estas zonas podría darse por difusión (Kadlec y Wallace, 2009).

Las especies utilizadas con más frecuencia son *Phragmites australis*, *Thypha* spp y *Scirpus* spp, con densidades de plantación de entre 3 y 5 ejemplares por metro cuadrado. A nivel local se han utilizado la especie autóctona *Zizaniopsis bonariensis* (Di Giorgi, Rep y Mariñelarena, 2012).

6.2 Descripción de los procesos de eliminación de contaminantes en Humedales Construidos

Los humedales construidos son sistemas complejos que separan y transforman las sustancias contaminantes por medio de procesos físicos, químicos y biológicos, que en general ocurren en simultáneo o en forma secuencial mientras el agua residual fluye a través del sistema (Vymazal, 2005). Las sustancias tales como la materia orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo y patógenos, son retenidos o degradados por mecanismos que resultan de la interacción entre el agua, sustrato, macrófitos, detritos y microorganismos.

El funcionamiento de los humedales construidos, así como el de otros sistemas naturales de depuración, es más difícil de predecir si se los compara con los sistemas convencionales. Esto se debe a que los humedales son sistemas complejos, donde no se tiene un control preciso sobre los patrones de flujo, ni se conoce la variedad de ambientes químicos y ecológicos existente. Las reacciones bioquímicas, al igual que sus tasas, varían a lo largo del tiempo y se ven influenciadas por el clima, el desarrollo y crecimiento de los organismos, así como por las interacciones entre las diversas comunidades bióticas (USEPA, 2000).

Una de las principales funciones llevadas a cabo por los humedales, es la remoción de los sólidos en suspensión contenidos en el agua residual. La baja velocidad del agua y la presencia de vegetación y el medio filtrante promueven la sedimentación y filtración de una gran proporción de la materia particulada (Kadlec y Wallace, 2009).

Muchos contaminantes están asociados a los sólidos suspendidos que ingresan al humedal, principalmente materia orgánica y otras sustancias como metales. La materia particulada tiende a acumularse ocupando los poros del medio filtrante, lo que incide profundamente sobre la conductividad hidráulica y el comportamiento del sistema (clogging).

La mayor parte de la materia particulada presente en los HFSS consiste en sólidos de origen biológico, los cuales se generan en el interior del sistema y están representados por el biofilm o biopelícula y por los detritos vegetales (Kadlec y Wallace, 2009).

Las partes de un humedal son:

1) *detritos vegetales (donde se incluyen a bacterias, hongos y microorganismos asociados)* En los HFSS se distingue una zona superior que contiene la mayor parte de las raíces de las plantas y una zona inferior sin raíces. La zona superior puede contener cantidades significativas de materia orgánica asociada con las plantas.

2) *biofilm*, que tapiza las partículas del medio granular, raíces y tallos de plantas. La biomasa microbiana se forma en respuesta a la carga orgánica particulada y soluble. Incluye a los microorganismos vivos y muertos, y a los sólidos orgánicos e inorgánicos que se adhieren en el proceso de filtración.

En los humedales sub superficiales, la materia suspendida es removida principalmente a través de mecanismos de sedimentación y filtración (Kadlec y Wallace, 2009).

Una biopelícula (biofilm) es definida como una comunidad microbiana sésil caracterizada por la adhesión a una superficie sólida y por la producción de una matriz que rodea el células bacterianas e incluye polisacáridos extracelulares (EPSS), proteínas y ADN (Wingender et al, 2001; Whitchurch et al, 2002; Costerton et al, 2003; Bjarnsholt et al, 2009). El desarrollo de la biopelícula es un resultado de la unión exitosa y posterior crecimiento de microorganismos sobre una superficie.

Los procesos que ocurren son:

Sedimentación: los HFSS son muy eficientes removiendo sólidos suspendidos, siendo uno de los principales mecanismos la sedimentación por gravedad. La sedimentación se ve influenciada por dos parámetros, la velocidad de flujo del agua y la distancia recorrida por las partículas. En humedales subsuperficiales, la presencia de un medio granular filtrante aumenta la velocidad de flujo, pero las distancia (espacio entre poros) que deben recorrer las partículas antes de chocar contra una superficie de intercepción son cortas, lo que favorece la sedimentación. En los HSS FH prácticamente todas las

partículas contenidas en el agua residual precipitan en la zona de entrada, que representa el 5% inicial de la longitud del humedal.

Filtración: la filtración en medios granulares se da por mecanismos que incluyen: el choque de las partículas con el medio granular, la adhesión al biofilm y la deposición por procesos de difusión aleatorios de las partículas (movimiento Browniano y bioturbación).

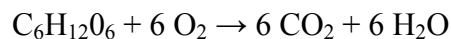
A partir de los procesos mencionados, a continuación se detalla la eliminación de los diferentes compuestos principales contaminantes de los efluentes.

Materia orgánica

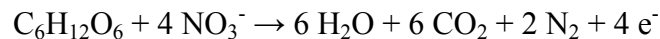
La degradación de los compuestos orgánicos ricos en carbono que llegan en forma particulada o disuelta, se realiza por medio de una variedad de reacciones bioquímicas que están fuertemente influenciadas por las condiciones de óxido reducción presentes en los humedales.

Los sustratos sencillos que se encuentran en disolución, como glucosa y aminoácidos, pueden ser asimilados directamente por las bacterias heterótrofas. Las moléculas de mayor tamaño, primero son hidrolizadas por las enzimas extracelulares excretadas por bacterias fermentativas facultativas y heterótrofas aeróbicas (fragmentación abiótica). Los ácidos generados mediante la hidrólisis, pueden ser asimilados por bacterias sulfatoreductoras, metanogénicas y heterótrofas aeróbicas (García y Corzo, 2008).

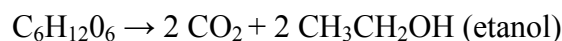
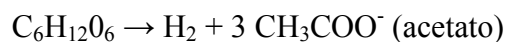
En condiciones aeróbicas, los compuestos carbonados son oxidados en el proceso de respiración celular de las bacterias heterótrofas aerobias, siendo el O₂ el aceptor final de electrones.



Otro grupo de bacterias heterótrofas facultativas pueden utilizar tanto O₂ como NO₃⁻ como aceptor de electrones para realizar su respiración celular. Este último proceso, llamado desnitrificación consume el nitrito y genera nitrógeno molecular como producto.

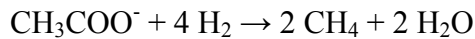
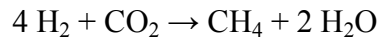


En condiciones anaeróbicas o anóxicas, una serie de bacterias heterótrofas degradan la materia orgánica mediante el proceso de fermentación, formando ácido acético, ácido láctico, etanol y gases como CO₂ y H₂.

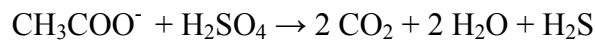


Los productos intermedios de la fermentación son degradados por otro grupo de bacterias.

Las bacterias metanogénicas utilizan H_2 como fuente de electrones, pero también pueden usar acetato (o formato) generando metano (CH_4) que puede ser liberado a la atmósfera, u oxidado a CO_2 por otro grupo de bacterias. La metanogénesis se da en condiciones altamente reductoras ($Eh < -200$ mV).



Un grupo de bacterias heterótrofas anaeróbicas, utiliza sulfato como aceptor de electrones para oxidar acetato y lactato, proceso denominado sulfato reducción.



Las condiciones de óxido reducción (medidas como potencial rédox, Ev), determinan la disponibilidad de distintas especies químicas que actúan como aceptor de electrones durante el proceso de respiración celular y tienen un efecto marcado sobre el ciclo de muchos nutrientes.

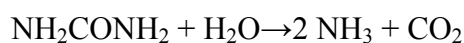
Los humedales de flujo sub superficial, se distinguen de otros sistemas de tratamiento, por la presencia simultánea de áreas con diferentes condiciones rédox, a escalas micro y macro. Esta heterogeneidad en las condiciones de óxido reducción se debe a factores como, la presencia de una zona radicular (rizósfera) y, a fluctuaciones en el nivel del agua por procesos de evapotranspiración (García et al, 2010).

Nitrógeno

El nitrógeno es un nutriente esencial para todos los organismos, se encuentra presente en el agua residual en forma de proteínas, ácidos nucleicos, adenosín fosfato y pigmentos. En las aguas residuales, los compuestos nitrogenados son de mucha importancia, debido a que contribuyen (junto con el fósforo) a la eutrofización, favoreciendo floraciones algales y la disminución del oxígeno disuelto en los cuerpos de agua superficial.

En las aguas residuales, las formas predominantes de nitrógeno inorgánico son amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y nitrógeno gaseoso (N_2). Los compuestos orgánicos de nitrógeno se originan por alimentos, heces y orina, estas moléculas complejas de alto peso molecular (proteínas, urea, aminoácidos) son protolisadas y desaminadas a amonio.

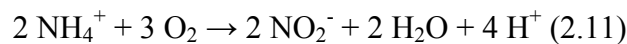
El proceso bioquímico mediante el cual el amonio es generado a partir de nitrógeno orgánico se denomina amonificación. Por ejemplo, para la urea:



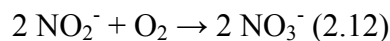
En los humedales, el principal mecanismo de eliminación de nitrógeno es de tipo microbiano, y consiste en la nitrificación seguida de desnitrificación. Sin embargo, también hay otros procesos que contribuyen a la eliminación, como la adsorción del amonio y la asimilación realizada por las plantas. En los humedales el ciclo del nitrógeno está acoplado al del carbono (materia orgánica) fundamentalmente a través de la desnitrificación (García y Corzo, 2008).

La nitrificación es un proceso aeróbico mediante el cual se oxida amonio a nitrito y nitrato. Ocurre en dos fases:

Nitritación por bacterias del género *Nitrosomonas*

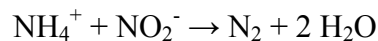


Nitrificación llevada a cabo por *Nitrobacter*



El nitrato (y nitrito) producido durante la nitrificación, puede ser utilizado como aceptor de electrones por bacterias heterótrofas facultativas, y reducido a nitrógeno molecular mediante el proceso de desnitrificación antes descrito.

Existe una vía alternativa de eliminación de amonio en condiciones anaeróbicas, donde el amonio es oxidado a nitrógeno molecular. Esta reacción denominada oxidación anaeróbica de amonio (ANAMMOX) es realizada por bacterias autótrofas de los géneros *Planctomycetes* y *Nitrosomonas eutropha* (Kadlec y Wallace, 2009).



Fósforo

Las tasas de remoción de fósforo son bajas en los humedales construidos, del orden del 10 al 20% (García y Corzo, 2008). Existen tres vías principales para la remoción de fósforo. Los microorganismos toman fósforo soluble, pero el almacenamiento en su biomasa es temporal, ya que gran parte se libera tras su muerte. Este elemento, sigue un ciclo de acumulación y liberación similar, durante el ciclo de crecimiento de las plantas (García et al, 2010). Las especies empleadas en los sistemas de tratamiento, se desarrollan en un ambiente rico en nutrientes y tienen la capacidad de acumular una mayor cantidad en sus tejidos respecto a aquellas que crecen en humedales naturales (Kadlec y Wallace, 2009).

El principal mecanismo de eliminación de fósforo en los humedales construidos, se debe a la formación de precipitados químicos con los minerales del medio granular. En sustratos ácidos el fósforo puede precipitar formando complejos con hierro y aluminio, mientras que en condiciones alcalinas, precipita como sales de calcio o magnesio. Las condiciones reductoras, favorecen la disolución de los minerales férricos y la liberación de los co precipitados de fósforo (Kadlec y Wallace, 2009).

Patógenos

Los patógenos presentes en el agua residual bruta de origen animal incluyen, virus, bacterias, hongos, protozoos y helmintos (Kadlec y Wallace, 2009). Los mecanismos ya sea bióticos o abióticos responsables de la eliminación de patógenos no se comprenden en detalle (García et al, 2010), pero intervienen procesos como la filtración, adsorción y depredación y están influenciados por el tiempo de residencia y las características del medio granular (García y Corzo, 2008).

Los humedales sub superficiales han mostrado ser eficientes en la eliminación de microorganismos patógenos. El grado de remoción es variable entre los sistemas, y oscila entre 1 y 2 unidades logarítmicas/100 ml. Los datos disponibles se centran en la eliminación de indicadores de contaminación fecal, pero es escasa la información sobre otras bacterias y microorganismos específicos. (García et al, 2010)

6.3 Diseño de un sistema de depuración para las aguas residuales del sector de ordeño del tambo 6 de agosto.

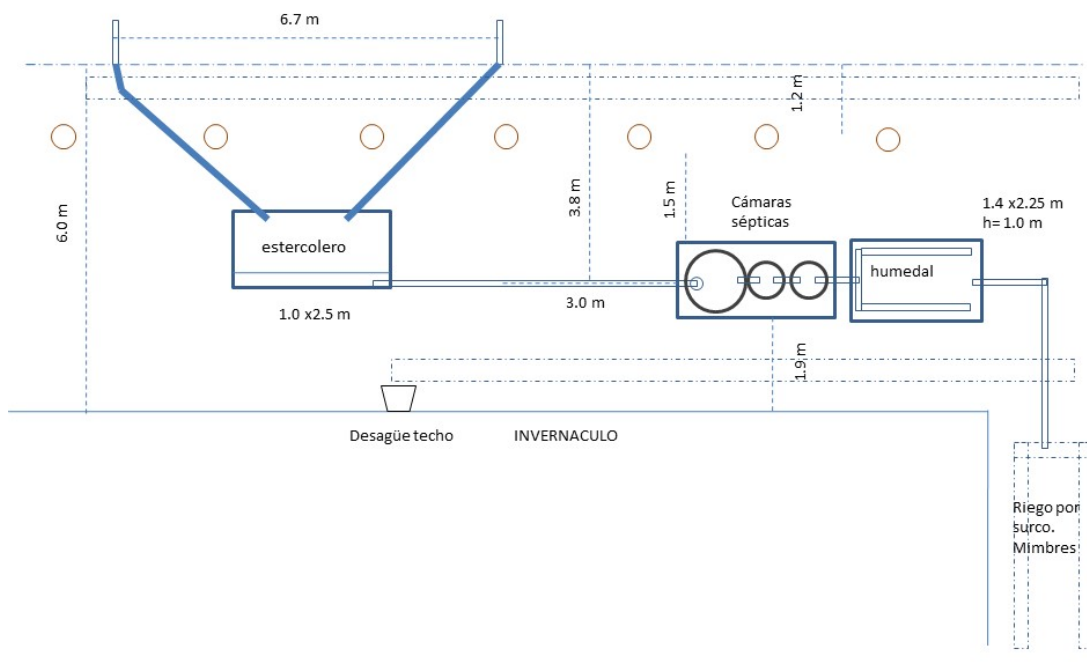
Considerando la baja escala productiva y las limitaciones económico-financieras y de infraestructura de los pequeños tambos (Marino et al, 2011) como el “6 de agosto”, es importante proponer tecnologías de depuración sencillas, versátiles y económicas, que permitan mejorar la calidad de vida de los pobladores, y asegurar la sanidad de los productos elaborados. Las tecnologías de depuración no convencionales son de simple operación, bajo mantenimiento, no requieren de una fuente de energía externa y se integran al paisaje rural, en donde se dispone de espacio suficiente para su emplazamiento. El uso de recursos locales y la posibilidad de incluir a la comunidad en la construcción, operación y mantenimiento, hace de éstos sistemas, una alternativa tecnológica posible para depurar las aguas residuales de pequeños tambos. El diseño del sistema es sólo un primer paso dentro del proceso de validación tecnológica, que se complementa y se ve sujeto a revisiones y modificaciones a partir del intercambio de saberes con los productores familiares.

Mediante un análisis y un diagnóstico de la situación del predio “6 de agosto”, se planteó una posible solución a los problemas generados respecto al tratamiento de efluentes que se producen en el mismo y las condiciones que presenta, caracterizándose por ser un establecimiento de baja escala productiva. Se plantea proponer un diseño y dimensionamiento de un sistema de tratamiento sencillo y económico para las aguas de limpieza de la sala de ordeño y del sistema de depuración para el tambo “6 de agosto”, que signifique un aporte al proceso de validación de tecnologías apropiadas para pequeños tambos familiares e industrias lácteas artesanales de la región.

La tecnología de humedales construidos, reproduce en un espacio confinado, los procesos que ocurren en los ecosistemas acuáticos naturales. Una comunidad de plantas acuáticas y los microorganismos asociados a la zona radicular, metabolizan y absorben los contaminantes del agua, generando un efluente con calidad aceptable para ser

infiltrado en el suelo, o volcado en los cuerpos de agua receptores (Mariñelarena y Di Giorgi, 2008). El proyecto contempla la construcción de un diseño de sistema de tratamiento que incluye un pre tratamiento para la separación de sólidos y un depósito para su compostaje, un tratamiento primario de decantación, un humedal construido como tratamiento secundario y la plantación de mimbres que eliminen mediante la evapotranspiración de los mismos los líquidos tratados. La figura 11 presenta un diagrama general del sistema del tratamiento planteado.

Figura 11. Vista en planta del sistema de tratamiento



A continuación se describen las unidades de tratamiento empleadas para la depuración de aguas de limpieza de la sala de ordeño propuestas para el Tambo “6 de agosto”.

Trampa de estiércol (estercolero)

Son estructuras diseñadas con la función de disminuir la velocidad de los líquidos, y permitir la recolección y acumulación de sólidos orgánicos más gruesos (bosteo de los animales, tierra, restos de alimento entre otros), para su posterior recolección manual. La velocidad de acumulación está dada por el tamaño, densidad, forma y rugosidad de las partículas.

Cámaras sépticas y filtros ascendentes

La función para la cual se diseñaron, fue para separar sólidos gruesos por sedimentación y grasas, y aceites por flotación. Estas unidades, actúan como digestores anaeróbicos y en el fondo se desarrollan bacterias que degradan parte de los contaminantes del agua

residual. Una fracción de los sólidos inorgánicos y orgánicos de baja digestibilidad (lignina, celulosa) se acumula en el fondo y deben retirarse con cierta frecuencia.

Para aguas residuales de sala de ordeño se recomienda entre 3 y 4 días de tiempo de residencia hidráulico (Schmidt et al., 2008, Wisconsin NRCS Standard 629. Companion Document, 2009), aunque algunos autores consideran que 6 días es preferible (Hawkins y Eng, 2011). Schmidt et al., (2008) reportan eficiencias de eliminación del 40% DBO⁵, 50% SST, 50% de grasas y aceites y 15% NT.

A los fines prácticos, se decidió instalar 3 unidades anaeróbicas (Figura 12): un tanque plástico modificado como cámara séptica, con te de salida y filtro plástico, 2 filtros anaeróbicos ascendentes contruidos con tanques plásticos de 200L, rellenos el primer tercio con piedra partida. Los volúmenes útiles de cada unidad y el nuevo tiempo de residencia se resumen en la tabla 5.

Figura 12. Diagrama de los tratamientos anaeróbicos

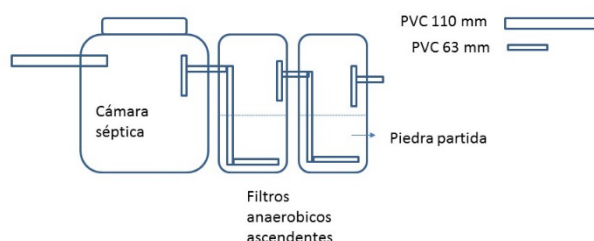


Tabla 5. Resumen de la capacidad y tiempo de residencia de las unidades de tratamiento anaeróbico.

| <i>Unidad de tratamiento</i> | <i>V (m³)</i> |
|------------------------------|--------------------------|
| Cámara séptica | 0,650 |
| Filtro ascendente 1 | 0,153 |
| Filtro ascendente 2 | 0,153 |
| <i>TOTAL</i> | 0,956 |
| | |
| TRH (d) | 3,82 |

Fuente: Elaboración propia, 2017

En la cámara séptica se produce la sedimentación, homogenización y digestión anaeróbica de los efluentes. Los filtros se cargan por un caño perforado de 50 mm que recorre el fondo de los tanques, filtrando en su ascenso sólidos y permitiendo el desarrollo de microorganismos tapizando el medio filtrante (piedra partida). El tiempo de residencia hidráulico de la cámara y filtros ascendentes se estimó en 3,8 días.

Humedal construido

Los humedales de flujo subsuperficial (HFSS) están rellenos con un material filtrante (piedra partida). Funcionan como reactores anaeróbicos con una gran superficie específica, donde el agua no está expuesta a la atmósfera, por lo que se reduce el riesgo de contacto de personas y animales con organismos patógenos y a su vez se previene desarrollo de vectores de enfermedades como mosquitos.

A partir de la carga orgánica del efluente de los filtros anaeróbicos y de tablas con tratamientos similares se estimó la superficie del humedal, obteniéndose un área de 1,8 m². Se decidió ampliar la superficie del humedal de flujo vertical ascendente de 1 m de profundidad, relleno con piedra partida de porosidad 0,4. La tabla 6 resume las dimensiones y tiempo de residencia del humedal vertical.

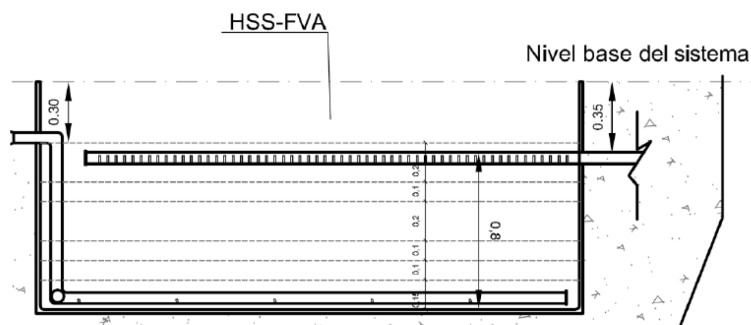
Tabla 6. Dimensiones del humedal de flujo vertical ascendente

| Dimensiones humedal | Valor | Unidades |
|---------------------|-------|----------------|
| Ancho | 1,4 | M |
| Largo | 2,25 | M |
| Superficie | 3,15 | m ² |
| Profundidad | 1 | M |
| Volumen útil | 1,26 | m ³ |
| porosidad | 0,4 | |
| TRH | 5,04 | días |

Fuente: Elaboración propia, 2017

En la figura 13 se observan los detalles de las ramas descendentes de carga del humedal, y la parrilla superior que drena el efluente final.

Figura 13. Vista en corte de las estructuras de ingreso y egreso de agua al humedal de flujo vertical ascendente.



El humedal, de 1 m de profundidad relleno de piedra partida fue sembrado con *Thypha spp.* Las especies utilizadas con más frecuencia son *Phragmites australis*, *Thypha spp* y *Scirpus spp*, con densidades de plantación de entre 3 y 5 plantas por metro cuadrado.

El metabolismo de las plantas genera alteraciones en las condiciones rédox cercano a las raíces que ocuparan los primeros 30 cm del sustrato, generando condiciones para el desarrollo de microorganismos en las inmediaciones de las raíces. Las piedras serán colonizadas por bacterias y otros microorganismos, aumentando la superficie de contacto con los contaminantes disueltos, provenientes del tratamiento anaeróbico.

Filtro verde

Los líquidos generados una vez que pasan por el tratamiento, resulta necesario eliminarlos del sistema, a los fines de no acumular agua. Para esto se diseñó un sistema de plantación de mimbres que evapotranspirarán los mismos. Los árboles aprovecharán el agua y nutrientes para desarrollarse, obteniéndose como subproducto varas de mimbre para distintos usos en el predio.

6.4 Construcción del sistema de tratamiento

Una vez diseñado el tratamiento se inició la tarea de construcción del mismo. En esta tarea colaboraron miembros del equipo técnico del predio, integrantes de INTA- IPAF pampeano, investigadores del ILPLA-CIC-Conicet y estudiantes pasantes de la carrera de Ingeniería Agronómica de la FCAyF.

A partir del diseño de construcción, inicialmente se comenzó realizando un pozo (Figura 14) para la colocación de los tanques de plásticos (Figura 15) de diferentes volúmenes que actúan como cámara séptica, posteriormente los mismos fueron conectados entre sí mediante caños de plástico que fueron medidos y cortados manualmente. Luego se colocaron y nivelaron en los pozos realizados (Figura 16). Al mismo se tiempo se construyó una carpeta de cemento, que hoy actúa como trampa de estiércol o estercolera (Figura 17). Después se construyó una T con caños de plástico (PVC), que une los tanques mencionados con el humedal y se fueron ranurando manualmente utilizando una sierra. Posteriormente se realizó un segundo pozo, donde se construyó el humedal, colocándose al mismo un nylon, con la función impermeabilizante del suelo y se relleno con piedra partida. A continuación se realizó una zanja para la instalación de un caño plástico, que se conectó a la salida del humedal para luego concluir en una cava construida, en una primeramente con la pala de un tractor y luego manualmente (Figura 18). Por último, se realizó una plantación de estacas de mimbres en la parte superior, hacia el costado de la zanja previamente mencionada (Figura 19), y la colocación de plantas acuáticas dentro del humedal (Figura 20), una vez que el tratamiento comenzó a funcionar (Figura 21).

Figura 14. Construcción de pozos para colocación de cámaras sépticas y realización del humedal



Figura 15. Tanques plásticos de diferentes volúmenes funcionando como cámara séptica



Figura 16. colocación sépticas



Nivelación y de cámaras (tanques)

Figura 17. Construcción de Trampa estercolera



Figura 18. Construcción mecánica (Izquierda) y manual (Derecha) finalizada de zanja



Figura 19. Plantación de estacas de mimbres



Figura 20. Colocación de las plantas acuáticas en el humedal



Figura 21. Vista del sistema de tratamiento final



Dificultades

Al proponerse el diseño de tratamiento de efluentes fueron surgiendo numerosas problemáticas que dificultaban la puesta en marcha del sistema, esto nos exigió realizar un análisis dentro del equipo, para obtener soluciones óptimas de las mismas. Una de las principales fue, las altas precipitaciones a lo largo del año, que generaban problemas en la construcción del sistema de tratamiento. El agua que caía de los techos de la sala de ordeño y las instalaciones que se encuentran alrededor, sumaban una gran cantidad ingresando a nuestro sistema, saturándolo y aumentando el volumen para el cual fue diseñado. Se pensó como estrategia poder disminuir el ingreso de agua de lluvia al sistema, para ello se planteó recolectar el agua de lluvia de los techos de la sala de ordeño y sus alrededores, almacenarla en tanques, y así poder reusarla posteriormente en la rutina de limpieza del tambo, disminuyendo el consumo de agua potable del mismo. Esto se aborda en detalle en el apartado siguiente.

Además el agua de lluvia proveniente de las canaletas del invernáculo ingresaba también al sistema saturándolo. Para solucionar esta problemática se pensó desviarla hacia otra parte del campo, cambiando la pendiente de caída y la construcción de una zanja paralela, permitiendo que el agua corra por la misma. (Figura 22)

Figura 22. Vista frontal zanja paralela (Izquierda) para recolección de agua de lluvia proveniente del invernáculo y montículo de tierra (Derecha) construido para aislación del sistema de tratamiento.



Por otra parte la construcción del sistema de tratamientos llevó una alta carga de trabajo, superando lo planificado inicialmente. Las tareas más importantes se realizaron en cuatro jornadas de trabajo, en la que participaron varios estudiantes junto al equipo técnico. Las mismas fueron discontinuas desde el año 2015 a mediados de 2016, dado que no había una exclusividad en ésta tarea, debiendo atender varios proyectos simultáneos los integrantes del equipo técnico, y una alta carga académica en el caso de

los estudiantes. La parte final se realizó con un número reducido de personas (un técnico del equipo y dos estudiantes), logrando la puesta en funcionamiento a fines del año 2017.

Por último al no contar con experiencia previa en la construcción de un sistema similar, hubo que realizar continuos ajustes que demoraron la implementación del mismo. Un ejemplo de esto fue la implantación de *Phragmites Australis* en el humedal, en una etapa previa a la puesta en funcionamiento. Estas plantas se secaron por falta de humedad, debiendo ser reemplazadas por otras especies de fácil acceso en la región y mayor rusticidad (*Thypha sp*).

6.5 Cosecha de agua de lluvia para su uso como agua de limpieza de pisos

A partir del proyecto del tratamiento de efluentes, surge la posibilidad de recolectar el agua de lluvia caída en los techos de la sala de ordeño, la oficina y estructuras aledañas, que a su vez ingresan al sistema de tratamiento propuesto. Para esto se pensó la reducción del aporte de agua pluvial al mismo, como así también la posibilidad de disminuir el agua de los corrales. Esto último tiene como ventaja extra una menor generación de barro y una mayor higiene en los animales al momento del ordeño. A su vez se pensó también la recolección de agua de lluvia como una posible alternativa para reducir el consumo de agua subterránea durante la rutina de limpieza.

Se planificó la colocación de canaletas en los techos de oficina y sala de ordeño, que permita conducir y almacenar el agua a través de tanques de reservorio. Se tomaron las medidas, para estimación de la cantidad de tanques que se podían colocar en función de los requerimientos, y la instalación de una bomba para su distribución posterior.

Frente a esta propuesta, se realizó un relevamiento de las superficies realmente efectivas de cosecha de agua, se midieron con una cinta métrica las mismas. Luego se calculó el área de los techos que potencialmente puedan usarse para cosechar agua de lluvia mediante canaletas. (Figura 23, Tabla 7)

Figura 23. Diagrama de las superficie de los techos de edificios cercanos al tambo.

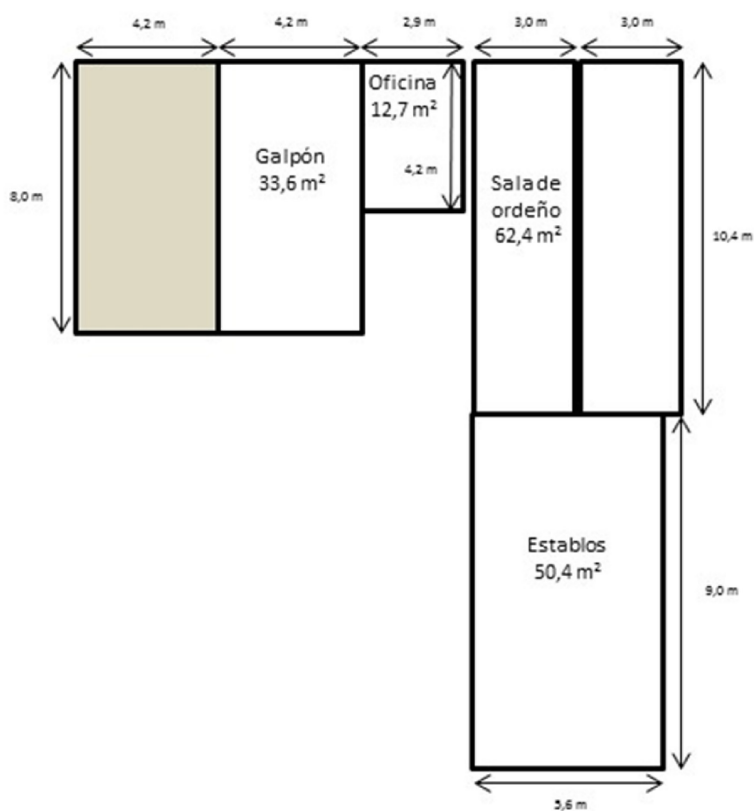


Tabla 7. Superficie de los techos de edificios cercanos al tambo.

| <i>Edificio</i> | <i>Superficie (m²)</i> |
|-----------------|-----------------------------------|
| Galpón | 33,6 |
| Oficina | 12,76 |
| Sala de ordeño | 62,4 |
| Establos | 50,4 |
| Total | 159,16 |

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Luego de obtener la superficie efectiva de recolección de agua de los techos (Figura 23), se definieron los consumos de agua diarios. A partir de los relevamientos realizados de consumos de agua durante la rutina de limpieza de las instalaciones y maquinaria de ordeño, se calculó un caudal diario para limpieza de pisos de 180 litros.

Luego de la obtención de la demanda de agua, se calculó un volumen de reservorio óptimo para poder cubrir la misma. Para lo cual se procesaron los datos de precipitaciones diarias de la localidad de La Plata para el período 01/2010 al 12/2016, obtenidos en la base de datos del Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico del INTA.

El volumen de agua cosechado se calculó mediante la siguiente fórmula

$$V = (pe/1000) * A$$

Donde V=volumen, m³; pe=precipitación efectiva (mm); A= Area de cosecha (m²)

Se asume una eficiencia de cosecha de los techos del 80%, considerando que no toda el agua será colectada por las canaletas, debido a salpicaduras y a que los primeros milímetros que arrastran sedimentos serán retenidos por cámaras antes de su ingreso a los reservorios.

A continuación se asigna una capacidad del reservorio en m³. Luego se calcula para cada día el volumen final del tanque de agua, considerando:

- Ingresos de agua: si llueve, el volumen cosechado por la superficie de techos.
- Egresos de agua: 0,18 m³

Esta operación se repite para el periodo de 7 años, y se calcula el número de días que el tanque tiene un volumen de agua mayor a 0 al final del día.

Se estima el porcentaje de cobertura de la demanda como la relación entre los días que el tanque tuvo agua (V>0) y el número total de días estudiados.

Se calcula el porcentaje de cobertura para distintas capacidades del reservorio, como indica la tabla 8.

Tabla 8. Porcentaje de cobertura para distintas capacidades del reservorio.

| <i>Capacidad del reservorio (m³)</i> | <i>% Cobertura de la demanda de agua</i> |
|---|--|
| 2,0 | 75,75% |
| 2,5 | 81,93% |
| 3,0 | 86,19% |
| 3,5 | 89,60% |
| 4,0 | 92,26% |
| 4,5 | 94,37% |
| 5,0 | 95,93% |
| 6,0 | 97,54% |
| 7,0 | 98,47% |
| 8,0 | 99,26% |

Fuente: Elaboración Propia, 2017

A partir de la tabla 8 se define como capacidad óptima 5 m³, que permitirá cubrir la demanda de agua de limpieza el 95,93% de los días. En los días restantes se deberá limpiar el piso con la bomba que se abastece desde la perforación.

Esta opción queda a modo de propuesta a futuro, requiriendo una importante inversión en canaletas, tanques de reservorio y bomba centrífuga.

7. Conclusiones

Este trabajo refleja la actividad realizada en el Tambo “6 de agosto” en cuanto a la problemática del tratamiento de efluentes y las posibilidades de desarrollar una tecnología apropiada para el mismo. Su planificación y realización se llevó cabo en diferentes etapas, por un lapso de aproximadamente dos años, de los cuales participé en gran parte del proceso.

El tratamiento de efluentes de la sala de ordeño para un tambo de baja escala fue posible, a partir del dimensionamiento y posterior realización del mismo con materiales sencillos, de fácil acceso y relativamente económicos. Si bien gran parte de la tecnología es de proceso, requiere de la compra de algunos materiales como caños, tambores, piedra partida, los cuales tienen un costo relativo, aunque factible para los productores tamberos familiares. Por otra parte cuenta con la necesidad de varias personas para su construcción. Esto último fue cubierto con los integrantes del equipo técnico y estudiantes pasantes que colaboramos en la realización del mismo.

Podemos demostrar a partir de esta propuesta de intervención profesional, que es posible replicar este modelo sencillo y económico hacia productores familiares de la Cuenca Abasto Sur, trabajando sobre una temática de suma importancia en cuanto a los aspectos ambientales de la producción lechera. Se destaca la fácil construcción del sistema y el bajo requerimiento de tiempo para su operación y mantenimiento. Si bien este proyecto presenta una tecnología novedosa poca estudiada, la misma se debe adecuar a las diferentes realidades de los productores familiares. En este sentido las unidades productivas cuentan con estructuras disímiles, por lo que si bien se puede copiar el concepto del tratamiento, deberá contar con adaptaciones propias del sistema a trabajar.

Resulta de interés, mencionar el trabajo en el marco de un equipo técnico en el cual se representaban diferentes instituciones de ciencia y tecnología. Entre ellos podemos mencionar el INTA - IPAF y el ILPLA, los cuales aportaron conocimientos fundamentales para el diseño y desarrollo del mismo.

La etapa de construcción y puesta a punto llevó a plantear nuevos desafíos y problemáticas que fueron surgiendo, las cuales fueron saldadas a partir del análisis y búsqueda de soluciones “*in situ*” por el equipo técnico que trabajó en el mismo. De esta forma se resolvieron situaciones como recálculo de pendientes, otras fuentes de ingreso de agua al sistema (invernáculo, techos), ascenso de napas freáticas por exceso de lluvias, entre otros.

A partir de las diferentes circunstancias mencionadas se destaca la importancia como práctica profesional, para poder actuar en los distintos contextos que existen, resolviendo las dificultades que van surgiendo, no dejando de lado el hecho de poder articular y trabajar junto con otros profesionales e instituciones.

Por otra parte la temática abordada, explora aspectos que en la actualidad cuentan con una alta demanda por parte de la sociedad, como son las cuestiones ambientales. En este tema la formación de los Ingenieros Agrónomos cumple un rol fundamental en pos de la sustentabilidad de los sistemas productivos. Estos diseños se pueden aplicar como solución a los tratamientos más comunes en la producción lechera: lagunas al aire libre que generan malos olores, atracción de insectos vectores de enfermedades, y su infiltración la contaminación de la napa subterránea, de la cual la mayoría de los productores consumen agua para su uso doméstico.

Se destacan además las posibilidades de integración de conocimientos vistos a lo largo de la carrera utilizando, conceptos de química, microbiología, mecánica, riego, producción animal, entre otros, para abordar una temática compleja como la presentada.

Finalmente, este trabajo de tesis pretende ser un aporte para los pequeños y medianos productores, favoreciendo el desarrollo de un sistema agroecológico. Con el fin de favorecer una mirada más integral del régimen productivo, y de esta manera evitar los impactos ambientales y sanitarios, de los incipientes procesos de intensificación de la producción primaria de leche en Argentina. O sea que, la propuesta realizada pretende considerar no sólo los aspectos productivos y ambientales, sino también los sanitarios, para evitar derivaciones que afecten a la salud de las poblaciones expuestas (humanos y animales), así como a la producción de alimentos en cuanto a su inocuidad.

8. Bibliografía

- Aguirre, G.** (1999). Manejo de los efluentes de tambo, *Rev. Med. Vet.*, 80 (5): 414-416
- Aliverti, F.** (2014). Trabajo final integrador. CESA, FCV, UNLP “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA OBTENCIÓN DE LECHE DE CALIDAD EN UN TAMBO DE LA CUENCA ABASTO SUR”.
- Ander Egg,** (1987). “La observación”. En: Métodos y técnicas de investigación social IV. Técnicas para la recogida de datos e información. Capítulo 2. Buenos Aires: Hvmantas, 21° edición.
- Arzubi A, Schilder E y Costas A.** (2003). Análisis de la eficiencia en explotaciones que sobrevivieron a la crisis de la lechería Argentina. Actas y CD (ISSN 1666-0285) de la XXXI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. Rosario.
- Arzubi & Schilder.** (2006). Una observación de los sistemas de producción de leche realizada desde la eficiencia. Asociación Argentina de Economía Agraria. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/ies/docs/otrosdoc/lecheria.pdf>.
- Barros C.** (2005). “Las caras de la neorruralidad”. Disponible en: <http://agro.faua.info/node/143>.
- Bisang R., Gutman, G. y Cesa, V.** (2003). La Trama de Lácteos en Argentina . Estudios sobre el Sector Agroalimentario. Préstamo BID 925/OC-AR. Pre II. Coordinación del Estudio: Oficina de la CEPAL ONU en Bs As, a solicitud de la Secretaría de Política Económica, Ministerio de Economía de la Nación.
- Bisang R, Porta F, Cesa V & Camp M.** (2008). “Evolución reciente de la actividad láctea: el desafío de la integración productiva”. Disponible en: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/6/32766/DocW26.pdf>.
- Bjarnsholt T, Jensen PO, Fiandaca MJ, Pedersen J, Hansen CR, Andersen CB, Pressler T, Givskov M, Hoiby N.** (2009). Pseudomonas aeruginosa biofilms in the respiratory tract of cystic fibrosis patients. *Pediatr Pulmonol* 44(6):547–58.
- Burton, C. H., Turner C.** (2003). Manure management. Treatment strategies for sustainable agriculture. Silsoe Bedford, UK: Silsoe Research Institute
- Código Alimentario Argentino,** (2006). Capitulo II CONDICIONES GENERALES DE LAS FÁBRICAS Y COMERCIOS DE ALIMENTOS.
- Cordoba, J.** (2013). Diseño de un sistema de tratamiento no convencional para la depuración de las aguas residuales generadas durante el ordeño en el tambo “6 de Agosto” de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina). Proyecto Fin de Master. Maestría en Ingeniería del Agua. Universidad de Sevilla.
- Córdoba, J; Moreyra, A; Mariñelarena, A; Di Giorgi, H; Cieza, R.** (2014). Ensayo de tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales del sector de ordeño para tambos de baja escala. Boletín Contacto Rural. FCAyF-UNLP.

Costerton W, Veeh R, Shirliff M, Pasmore M, Post C, Ehrlich G. (2003). The application of biofilm science to the study and control of chronic bacterial infections. *J Clin Invest* 112(10):1466–77.

Custodio, E., y Llamas, M. R. (1983). Hidrología subterránea. Ed. Omega, Barcelona.

Dairy Australia, (2008). Effluent and Manure Management Database for the Australian Dairy Industry. Dairy Australia, Australia.

Datos del Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico del INTA.

Di Giorgi, H., Rep, R. y Mariñelarena A. (2012). Informe de Funcionamiento de la Planta Ecológica de la EGB N°11 de Hudson, Partido de Berazategui. Informe técnico.

Di Piero, L; Vela, M E. Cieza, R. (2015). Manejo de un Sistema Productivo Lechero Bajo un Enfoque Agroecológico. El Caso del Tambo “6 de agosto”. En V Congreso Latinoamericano de Agroecología. La Plata. SOCLA. FCAyF. UNLP. La Plata. 7 al 9 de octubre de 2015. En actas del congreso

EPA 832-F-00-023 (2000). Humedales de flujo subsuperficial. Septiembre de 2000.

Espinosa, M., Bocanegra, E., Del Río, J.L. y Zamora, A. (2009). Evaluación de la calidad del agua subterránea en Mar de las Pampas, provincia de Buenos Aires. En: Contaminación y protección de los recursos hídricos. (eds) Schulz, C y Cabrera, M.C. Asociación Civil Grupo Argentino de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Buenos Aires. ISBN 978-987-1082-40-7. pp: 33- 42.

Fabregas & Pérez Frattini. (2009). ¿Soja vs. Tambo? Algunas reflexiones en torno al proceso de reconversión productiva en un área de la Cuenca Lechera de Abasto de la Provincia de Buenos Aires. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. Argentina. Disponible en: <http://www.filo.uba.ar/contenidos/secretarias/seube/revistaespacios/PDF/42/42.7.pdf>.

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 Journal of Water resources*, 29 (1): 81-91.(yo lo tengo citado así pero nose si va nossetti y col 2001 y separado como otro Galindo y col 2004 porque galindo solo 2004 encuentre estos titulus)

García, J. y Corzo, A. (2008). Depuración con Humedales construidos, Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Universitat Politècnica de Catalunya.

García, J., Rousseau, D., Morató, J., Lesage, E., Matamoros, V. y Bayona, J. (2010) Contaminant Removal Processes in Subsurface-Flow Constructed Wetlands: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40 (7), 561- 661.

González A. E., Rezzano Tizze N., Bonifacino E. I. (2008) Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros, diseño, operación y mantenimiento de sistemas de tratamientos de efluentes. DINAMA. Montevideo. UY. 2008. 231 p.

Hawkins, B., y Eng, P. (2011) Handling Milking Center Washwater. Nutrient Management Act, 2002. Fact Sheet. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario, Canada.

Herrero, A. (2014). Uso y Manejo del agua y efluentes en un área rural: Consecuencias sanitarias y ambientales de la intensificación de la producción primaria de la leche. Informe técnico. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Universidad de Buenos Aires. Disponible en http://repositorioubi.sisbi.uba.ar/gsd/collect/posgrauba/index/assoc/HWA_789.dir/789.PDF

Herrero, M. A. (2010). Efluentes de tambo ¿Algo molesto a eliminar o un recurso a utilizar?, Producir XXI. 19 (230), 68-71.

Herrero, M.A., Korol S.E., Charlon, V., Salazar, F., La Manna, A. (2009). Uso del agua, manejo de efluentes e impacto ambiental en el tambo. Informe internacional presentado en las III Jornadas Internacionales para la calidad de leche (JICAL III), Buenos Aires, Argentina, 26 al 28 de marzo de 2009. (pp. 27-57) Memorias de las jornadas, Buenos Aires, Argentina: APROCAL.

Herrero, M.A., Iramain, M.S., Korol, S., Buffoni, H., Flores, M., Pol, M... y Fortunato, M.S. (2002) “Calidad De Agua Y Contaminación En Tambos De La Cuenca Lechera De Abasto Sur, Buenos Aires (Argentina)”. Revista Argentina de Producción Animal Vol. 22 N° 1 pp: 61-70.

INTA Rafaela (2010). “Comportamiento de vacas Holando. Jersey y sus cruizas durante la época estival. Producción y composición química de la leche”. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/rafaela/actividad/proyectos/informe_final_PNL.pdf. Ultimo acceso: noviembre de 2010.

Iturriaga, R. (2011). Reconversión del tambo “6 de agosto” en el marco del proyecto “Producción láctea con fines sociales y educativos”. Trabajo Final de Grado, FCAYF – UNLP, La Plata, Argentina.

Kadlec, R. H., y Wallace, S. D., (2009) Treatment Wetlands. Second Edition. CRC Press; Boca Raton, Florida: 1048 pp.

MAA (2010). Ministerio de Asuntos Agrarios, Enero 2010. Resumen estadístico de la cadena láctea de la Provincia de Buenos Aires. Disponible en: http://www.maa.gba.gov.ar/2010/subsecretarias/archivos/Informe_Relevamiento.pdf.

MAGyP (1995). Ministerio de Agroindustria, Subsecretaría de Lechería. Estadísticas, 1995

Mariñelarena, A. (2006). Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias. FREPLATA Eds. Disponible en: www.ilpla.edu.ar/descargas.

Mariñelarena, A.; Di Giorgi, H. y R. Rep. (2008). Mesocosmos de humedales de tratamiento de flujo vertical ascendente con elevada remoción de Fósforo y Nitrógeno.

Marino, M., H. Castignani, A. Arzubi, O. Rambeaud, R. Álvarez, M. Taverna, M. Rodriguez, M. Suero, G. Iturrioz, W. Mancuso, P. Engler, G. Litwin, D. Leonhardt, J.C. Terán, E. Rocco, E. Comeron, J.C. Tosi, R. Vidal, L.M. Gutiérrez & A. Centeno. (2011). Caracterización de los Tambos Pequeños de las Cuencas Lecheras Pampeanas. Edic. INTA. Publicación Técnica N° 61. 48 páginas.

Menzi, H. (2002). Manure Management in Europe, results of a recent survey. In proceedings of the 10 th. RAMIRAN International Conference of the FAO/SCORENA Network on the recycling of Agricultural Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN). Strbske Pleso, Slovak Republic, (pp. 93-102).

Moreira, V; Bravo-Ureta, B; Arzubi, A. & Schilder, E. (2004). Medidas alternativas de eficiencia técnica en tambos de la argentina, utilizando una frontera de producción estocástica y datos de panel desbalanceado. Primer congreso regional de economistas agrarios. Noviembre de 2004.

Moreyra, A., Puricelli, M., Mercader, A., Rey, I., Córdoba, J. y N. Marsans. (2012a). "Acceso al agua de los agricultores familiares de región pampeana: un análisis multidimensional". INTA.

Moreyra, A, Mariñelarena, A; Di Giorgi, H; Córdoba, J y Marino, P Puricelli. (2012b). Propuesta de tratamientos naturales de las aguas residuales en escuelas agropecuarias y tambos familiares de la Región Pampeana. En 1er Seminario Latinoamericano sobre Acceso, Uso y Tratamiento del Agua para la Agricultura Familiar "Agua de Calidad con Equidad".

Nosetti, L.; Herrero, M. A.; Pol, M.; Maldonado May, V.; Gemini, V.; Rossi, S.; Korol, S.; Flores, M. (2002a). Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros, parte II. Calidad de efluentes y eficiencia de los procesos de tratamiento. INVET, 4 (1): 45-54

Nosetti, L., Herrero M. A., Pol, M., Maldonado, V., Iramain, M. S. y cols. (2002b). Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros; I. Demanda de agua y manejo de fluentes. Rev. InVet, 4(1):37-43.

Nosetti, L., Iramain, S., Herrero, M. A. (2001). Evaluación del uso y manejo del agua y efluentes en establecimientos lecheros de la provincia de Buenos Aires. Anales de las IX Jornadas de Jóvenes Investigadores de la AUGM, Universidad Nacional de Rosario, p. 277.

Obschatko, E. S., Foti, M. del P. y Román, M. (2007). Los pequeños productores en la República Argentina: importancia en la producción agropecuaria y en el empleo en base al Censo Nacional Agropecuario 2002. (2). Buenos Aires, Argentina: Estudios e investigaciones, 10.

Rousseau, D.P.L., Vanrolleghem, P.A. and De Pauw, N. (2004). Model-based design of horizontal subsurface flow constructed treatment wetlands: a review. Water Research, 38(6), 1484-1493.

Sábato, J. (1980). Desarrollo tecnológico de América Latina y el Caribe. Revista de la CEPAL N° 10.

SAGPyA. (2005). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Dirección Nacional de Alimentos. 2005. Lácteos: información de prensa de 2005.

Salazar Sperberg, F., Herrero, M. A., Charlón, V., LaManna, A. (2010). Animal waste management in dairy grazing farms in South American countries. End Dos Santos and 287 Ferrerira (Eds.). Treatment and use of organic residues in agriculture: Challenges and opportunities towards sustainable management. (Trabajo 0178, formato electrónico pp. 1-5), Lisboa, Portugal.

Schmidt, D. R., Janni, K. A., Christopherson, S. H. (2008). Milk house wastewater design guide. St. Paul, Estados Unidos: University of Minnesota Extensión.

Taverna, M., Charlon, V., Panigatti, C., Castillo, A., Serrano, P., Giordano, J. (2004). Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. INTA Rafaela, Argentina, p.75

USEPA (2000). United States Environmental Protection Agency. Land application of municipal sludge process design manual. Munic. Environ. Res. Lab., Cincinnati, OH. U.S.A., Govt. Print Office

Vymazal, J. (2010). "Constructed Wetlands for Wastewater Treatment". Water 2, no. 3: 530-549.

Vymazal, J. (2005). Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. Ecological Engineering, 25, 478.

Whitchurch CB, Tolker-Nielsen T, Ragas PC, Mattick JS. (2002). Extracellular DNA required for bacterial biofilm formation. Science 295(5559):1487.

Willers, H. C., Karamalis, X. N., Schulte, D. D. (1999). Potential closed water systems on dairy farms. Water, Science and Technology, 39(5): 113-119.

Wingender J, Strathmann M, Rode A, Leis A, Flemming HC. (2001). Isolation and biochemical characterization of extracellular polymeric substances from *Pseudomonas aeruginosa*. Microb Growth Biofilms, a 336:302–14.

Wisconsin NRCS Standard 629, Companion Document (2009). Milking center wastewater guidelines. Estados Unidos: Wisconsin Standards Oversight Council.