

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

“Diseño y evaluación económica y ambiental de alternativas
tecnológicas para el manejo de efluentes de tambo”

Alumno: Papes, Hernán Gabriel
D.N.I 32.762.851

Director: de Prada, Jorge Dante
Co-Director: Degioanni, Américo

Río Cuarto – Córdoba
Agosto/2011

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: “Diseño y evaluación económica y ambiental de alternativas tecnológicas para el manejo de efluentes de tambo”

Autor: Papes, Hernán Gabriel

DNI: 32.762.851

Director: de Prada, Jorge Dante

Co-Director: Degioanni, Américo.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

(Nombres)

Fecha de Presentación:

_____/_____/_____

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

Cualquier persona que busca un objetivo debe saber que para el logro del mismo se necesita sacrificio, dedicación y perseverancia, sin embargo existen alicientes que hacen más fácil el camino recorrido para llegar al cumplimiento de ese objetivo buscado. Estos alicientes son aquellas personas que nos rodean y en mi caso han sido muchas afortunadamente, es por esta razón que agradezco a:

- mi familia, por haber creído en mis condiciones y brindarme la posibilidad de dedicarme exclusivamente a llevar adelante mis estudios de grado.
- mi novia Marcela, por su comprensión, apoyo y solidaridad a lo largo de estos años.
- mis amigos por su palabra de aliento, sus consejos y por el tiempo compartido.
- Jorge y Américo, Director y Co – director de este trabajo respectivamente, por su dedicación y predisposición para la realización del mismo y por todas las enseñanzas que me han otorgado.

INDICE

Índice de texto

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RESUMEN..... | I |
| SUMMARY | II |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 4 |
| RESULTADOS..... | 8 |
| CAPÍTULO 1 ESTUDIO DE LOS BENEFICIARIOS..... | 8 |
| 1.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS BENEFICIARIOS. | 8 |
| 1.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS DISPONIBLES. | 8 |
| 1.3. CAPACIDAD DEL BENEFICIARIO PARA INCORPORAR LA INNOVACIÓN. | 9 |
| 1.4. CARACTERIZACIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMA. | 9 |
| 1.5. SOLUCIÓN A LA SITUACIÓN PROBLEMA. | 12 |
| CAPÍTULO 2 ESTUDIO DE MERCADO | 14 |
| 2.1. PRODUCTOS GENERADOS E IDENTIFICACIÓN DE PRECIOS | 14 |
| 2.2. INSUMOS DEMANDADOS..... | 18 |
| CAPÍTULO 3 ANÁLISIS TÉCNICO | 20 |
| 3.1. LOCALIZACIÓN. | 20 |
| 3.2. TAMAÑO. | 21 |
| 3.3. INGENIERÍA. | 22 |
| 3.4. CUANTIFICACIÓN FÍSICA DE LAS INVERSIONES..... | 30 |
| 3.5. CUANTIFICACIÓN FÍSICA DE INSUMOS Y PRODUCTOS. | 30 |
| 3.7. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS..... | 32 |
| 3.8. JUSTIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA..... | 32 |
| CAPÍTULO 4 EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL | 33 |
| 4.1. ETAPA 1: ALCANCE (SCOPING) Y COBERTURA DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. | 33 |
| 4.2. ETAPA 2: IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS EFECTOS DEL PROYECTO SOBRE EL AMBIENTE..... | 35 |
| 4.3. ETAPA 3: VALORACIÓN DEL IMPACTO..... | 39 |
| 4.4. ETAPA 4: PLAN DE MANEJO AMBIENTAL. | 41 |
| CAPÍTULO 5 EVALUACIÓN ECONÓMICA | 42 |
| 5.1. CUANTIFICACIÓN DE LA SITUACIÓN SIN Y CON PROYECTO. | 42 |
| 5.2. INDICADORES DE RENTABILIDAD CONSIDERANDO EL DAÑO AMBIENTAL. | 44 |
| 5.3. INDICADORES DE RENTABILIDAD SIN CONSIDERAR EL DAÑO AMBIENTAL. | 44 |
| 5.4. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS..... | 45 |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| 5.5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD..... | 45 |
| DISCUSIÓN | 47 |
| CONCLUSIONES..... | 48 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 51 |

Índice de tablas

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Tipificación de productores de san basilio, córdoba, argentina..... | 4 |
| Tabla 2. Productos principales y sustitutos para A1, A2, A3 | 14 |
| Tabla 3. Proyección de precios constantes para gas oil y biogas con escenario AACREA y EIA..... | 16 |
| Tabla 4. Precios por año para insumos y productos. | 19 |
| Tabla 5. Estimación y características de excretas en instalaciones de tambo para 166 vacas en ordeño.... | 21 |
| Tabla 6. Dimensiones de la pileta de sedimentación..... | 23 |
| Tabla 7. Dimensiones de estructuras de la planta de tratamiento de A1. | 24 |
| Tabla 8. Dimensiones de estructuras de la planta de tratamiento de A2. | 26 |
| Tabla 9. Dimensiones de estructuras de la planta de tratamiento de A3. | 29 |
| Tabla 10. Cuantificación física de las inversiones. | 30 |
| Tabla 11. Cuantificación de los productos para A1, A2, A3..... | 31 |
| Tabla 12. Cuantificación económica de las inversiones para cada alternativa. | 32 |
| Tabla 13. Efectos ambientales del actual sistema de manejo de efluentes. | 33 |
| Tabla 14. Acciones que genera A3..... | 35 |
| Tabla 15. Factores ambientales afectados por las acciones de A3. | 36 |
| Tabla 16. Efecto sobre el ambiente para A3..... | 36 |
| Tabla 17. Descripción de los efectos del proyecto para A3. | 37 |
| Tabla 18. Caracterización de efectos para A3..... | 38 |
| Tabla 19. Valoración de impactos ambientales negativos para A3. | 40 |
| Tabla 20. Análisis beneficio – costo para A1, A2, A3. | 44 |
| Tabla 21. Indicadores de ABC para cada alternativa considerando el daño ambiental. | 44 |
| Tabla 22. Indicadores de ABC para cada alternativa sin considerar el daño ambiental. | 45 |
| Tabla 23. Sensibilidad del VAN _s a la producción de biogas. | 46 |
| Tabla 24. Sensibilidad del VAN _s a la disminución o aumento del costo de oportunidad. | 46 |
| Tabla 25. Indicadores económicos sin y con daño ambiental. | 46 |

Índice de gráficos

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1. Proyección de precio final de petróleo para EE.UU..... | 15 |
| Gráfico 2. Evolución de precio constante de gas oil para Argentina..... | 16 |
| Gráfico 3. Evolución de producción, importaciones y consumo de urea en Argentina..... | 17 |
| Gráfico 4. Evolución de importaciones, consumo y producción de fosfato diámonico en Argentina..... | 17 |
| Gráfico 5. Evolución y tendencia de precio constante julio 2009 para urea y fosfato diamónico..... | 18 |
| Gráfico 6. Proyección de la calidad ambiental en función de los impactos. | 40 |
| Gráfico 7. Proyección de la situación sin proyecto aplicando A1, A2, A3. | 43 |

Índice de ilustraciones

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Árbol de problemas de la situación actual..... | 11 |
| Ilustración 2. Árbol de soluciones para la situación actual. | 12 |
| Ilustración 3. Esquema de sistema de manejo de efluentes. | 13 |
| Ilustración 4. Macrolocalización del sistema de manejo de efluentes..... | 20 |
| Ilustración 5. Microlocalización del sistema de manejo de efluentes..... | 21 |
| Ilustración 6. Esquema de pileta de sedimentación..... | 23 |
| Ilustración 7. Vista lateral y frontal de laguna anaeróbica y facultativa..... | 25 |
| Ilustración 8. Esquema de planta de tratamiento aplicando A1..... | 25 |
| Ilustración 9. Esquema de planta de tratamiento aplicando A2..... | 27 |
| Ilustración 10. Vista lateral y frontal del biodigestor. | 29 |
| Ilustración 11. Esquema de planta de tratamiento aplicando A3..... | 30 |

RESUMEN

Los efluentes de tambos sin tratamiento producen externalidades negativas, aunque su aprovechamiento puede ser transformarlos en productos útiles. Este trabajo final presenta el impacto físico, ambiental y económico de tres alternativas de aprovechamiento de efluentes de bovinos lecheros (A1, A2 y A3). La evaluación de impacto ambiental, la valoración económica con precios de mercados sustitutos: gasoil (biogas), energía eléctrica (agua para lavado) y fertilizantes químicos (abono orgánico) y el análisis beneficio-costos (ABC) fue realizado. El ABC considera un periodo de análisis de 15 años, una tasa social de descuento 10%, precios constantes a julio de 2009 y análisis de sensibilidad del valor actual neto, VAN. El VAN_S (social) considera la valoración del daño ambiental con y sin aprovechamiento de efluentes, mientras el VAN_P (privado) ignora el daño ambiental. El estudio se realiza para un tambo representativo de 200 vacas totales de la cuenca lechera de San Basilio, Córdoba, Argentina. Los resultados muestran que las inversiones alcanzan los \$234.000, \$260.000 y \$291.000 para A1, A2 y A3 respectivamente. Los VAN_{S10%} para A1, A2 y A3 son \$22.000, \$-31.000 y \$548.000 respectivamente, mientras que los VAN_{P10%} para A1, A2 y A3 son \$-85.000, \$-123.000 y \$131.000 respectivamente. La mayor incertidumbre es la producción de biogas, variando entre 24,5 y 49 m³/día. El análisis de sensibilidad muestra que si la producción de biogas fuera la menor, A3 tendría un VAN_S positivo (\$195.000), pero VAN_P sería negativo (\$-14.000). Para alcanzar una producción lechera económicamente más eficiente y ambientalmente más amigable, las políticas deberían promover: la calibración local de la tecnología de producción de biogas y la inclusión de los beneficios del aprovechamiento del efluente del tambo.

PALABRAS CLAVES: externalidad, lechería, efluentes, análisis beneficio-costos.

SUMMARY

The external impacts of wastewater from a dairy farm are usually ignored although it can be partially converted to useful products. In this work, the economic and environmental impacts of three technical approaches (A1, A2 and A3) to treat wastewater from a dairy farm are evaluated. Three alternatives were designed for a representative farm of 200 cows in San Basilio, Cordoba, Argentina. By using a 15 years of horizon planning, a social discount rate 10%, and constant prices for July 2009, the methodology of benefit-cost analysis (ABC) is applied. With prices of substitute products: diesel fuel (biogas) electric power (water treatment) and chemical fertilizers (manure), was used to value benefits. Sensitivity analysis to uncertain parameters of the net present value (NPV) is applied. The NPV_S (social) takes into account the value of environmental damage, while it is ignored in the NPV_P (private). The results show that investments reach \$234,000, \$260,000 and \$291,000 for A1, A2 and A3 respectively. Accounting for the external value, the $VAN_{S10\%}$ for A1, A2 and A3 are \$22,000, \$-31,000 and \$548,000 respectively, while $VAN_{P10\%}$ of A1, A2 and A3 are \$-85,000, \$-123,000 and \$131,000 respectively. The biggest uncertainty is the production of biogas, varying among 24.5 and 49 m^3/day . When the lowest biogas production parameter was used, A3 would still be viable ($NPV_S = \$195,000$), but the NPV_P of A3 would be negative ($-\$14,000$). In order for dairy production become economically more efficient and environmentally more friendly the policies should promote to calibrate locally the biogas technology and to include benefits of use wastewater treated.

KEY WORDS: externality, wastewater treatment, dairy farm, benefit-cost analysis.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la producción nacional de leche bovina ha aumentado de la mano de la intensificación de los sistemas de producción, expresado en un aumento de la carga animal, mejoras en la genética, mayor suplementación y calidad de los alimentos. La consecuencia de esta intensificación ha sido una mayor productividad de leche y un efecto no deseado: la mayor producción de estiércol (excretas sólidas y líquidas) cuya disposición final sin tratamiento ejerce efectos negativos sobre el ambiente (Herrero *et. al.*, 2006).

En la actualidad, el manejo del efluente de los tambos no tiene tratamiento y con raras excepciones algún aprovechamiento. La modalidad más común de manejo del efluente se basa en la utilización de una laguna digestora de tipo anaeróbica sin fondo impermeabilizado (Taverna *et. al.*, 2004, PEC, 2009). Este manejo tiene alta posibilidad de causar los siguientes problemas ambientales: a) emisión de gases de efecto invernadero (p.e. metano y dióxido de carbono) y olores desagradables, b) contaminación de la capa freática por nutrientes (nitratos y nitritos) y patógenos, c) alteración de la biota (proliferación de insectos p.e. moscas, mosquitos) y d) contaminación del suelo por inutilización parcial. Estos efectos son dañinos para el medio ambiente como así también para la salud humana y animal. Si se mantiene el manejo actual de residuos, varios de estos efectos serán cada vez más dañinos y perjudiciales para el medio ambiente y la economía, en primer lugar para el productor y su familia y posteriormente para la comunidad.

El problema ambiental causado por los efluentes del tambo puede constituirse en una oportunidad de negocio considerando el aprovechamiento del mismo o, en una amenaza considerando los efectos ambientales sino se realiza un tratamiento adecuado. En relación a la oportunidad, la producción de energías renovables a partir de residuos orgánicos constituye un elemento importante a considerar. De acuerdo con EIA (2010), en su proyección 2007 – 2035 para el mercado energético en EE.UU., el incremento en la demanda energética será parcialmente soportado por la oferta de energía fósil (petróleo y gas) y cada vez cobrarán más importancia las fuentes alternativas de energía. En nuestro país, la Ley de biocombustibles nacional y la adhesión de diez provincias, entre ellas Córdoba, promueven la producción de biogas (Chidiak y Stanley, 2009) y el aprovechamiento de residuos orgánicos como el estiércol de vaca y los efluentes del tambo constituyen una excelente opción. Por otro lado, el abono orgánico es un posible sustituto de los fertilizantes inorgánicos cada vez más usados en la agricultura, tales como la urea, el fosfato diamónico y el superfosfato triple, parcialmente importados porque la oferta nacional no alcanza, de acuerdo a FAO (2010).

En contraste, las presiones sociales por un ambiente sano y la condena cada vez más reiterada de actuaciones irresponsables constituyen una seria amenaza para los productores lecheros. En este sentido, la Ley provincial 9306/06 “Regulación de los sistemas intensivos y concentrados de producción animal” pone de manifiesto la voluntad política del Estado de controlar los daños ambientales causados por estos sistemas de producción animal, inclusive el tambo. La ley exige la

evaluación de impacto ambiental y la mitigación de los efectos ambientales no deseados, estableciendo una serie de obligaciones que el sistema de manejo actual no cumple, tales como: monitoreo de aguas, tratamiento de las excretas, entre otros (Secretaría de Ambiente, 2010). En la medida que la autoridad de aplicación empiece a fiscalizar los sistemas de producción ya sea por iniciativa propia o por reclamos sociales basados en la afectación de los intereses sociales difusos, los sistemas de producción tendrán que tomar medidas de emergencias o defensivas que probablemente no sean las más deseables.

Por ello, para resolver el problema ambiental causado por los efluentes es necesario adoptar sistemas de gestión de efluentes que reduzcan la contaminación y aprovechen las oportunidades. En cuyo caso será necesario inversiones para el tratamiento y aprovechamiento de los productos que se pueden originar a partir del residuo: abono orgánico, biogas y agua para lavado de pisos (Herrero *et al.*, 2006). En este sentido, existen diferentes alternativas tecnológicas para tratar los efluentes del tambo. Los sistemas de tratamiento van desde la simple impermeabilización de un sistema de lagunaje sin utilización de agua hasta la transformación total de residuos en productos útiles para el productor (p.e. biogas, energía eléctrica, abono orgánico, agua para lavado).

En otros países las tecnologías para el manejo de efluentes han sido valoradas económicamente, así Yiridoe *et al.*, (2009) en Canadá estudiaron la viabilidad económica social (VAN_s) y privada (VAN_p) de la producción de biogas en tambos de 50, 100, 250 y 500 vacas en ordeño incluyendo en el análisis de viabilidad beneficios no valorados por el mercado convencional tales como: reducción de olores, de patógenos, de germinación de semillas de malezas, de contaminación de agua, de emisión de gases de efecto invernadero y producción de abono orgánico y de energía. Por otro lado Giesy *et al.*, (2009), en Florida EE.UU., estudiaron la viabilidad privada de tratar los residuos incluyendo el beneficio económico obtenido por ahorro en la compra de energía eléctrica para tambos de 650 y 2100 vacas totales. En Australia Harris (2009) desarrolló un modelo que permite definir la inversión necesaria, el tamaño de biodigestor y la producción de energía diaria en base al número de vacas totales que posee el productor.

En el ámbito nacional, si bien las alternativas de manejo de efluente aparecen promovidas por el Estado se focalizan en el desarrollo técnico y no en la valoración del impacto económico, Taverna *et al.*, (2004) diseñaron en la EEA INTA – Rafaela un sistema de gestión de efluentes basado en la separación de las fracciones sólida y líquida que lo componen. La fracción sólida se trata sobre una superficie impermeable y luego se distribuye a campo como abono orgánico, mientras que el componente líquido es tratado en un sistema de triple laguna que trabaja en serie (la primera anaeróbica y las posteriores facultativas) y posteriormente se utiliza para el lavado de pisos de corrales. En otra experiencia Charlón *et al.*, (2004), evaluaron un sistema de riego con efluentes en un tambo ubicado en Colonia Bicha (Santa Fe). Los efluentes generados en la instalación de ordeño, incluidos los producidos luego de la limpieza de la ordeñadora y del tanque de frío, son dirigidos por un canal a cielo abierto a un depósito temporario de mampostería. Los sólidos son retenidos por una

rejilla ubicada antes del ingreso al depósito y una bomba estercolera impulsa el efluente a un aspersor de tipo molinete.

Este trabajo se focaliza en parte de un sistema de manejo de residuos global a través del diseño y evaluación a nivel económico y ambiental de tres alternativas tecnológicas para el tratamiento de efluentes, valorando no sólo las inversiones necesarias sino también los productos generados por cada una de ellas.

El objetivo general de este trabajo es diseñar y evaluar tres alternativas tecnológicas para tratar y aprovechar los efluentes de un tambo de 200 vacas totales ubicado en la zona de San Basilio, Córdoba, Argentina. También se plantean los siguientes objetivos específicos: diseñar tres alternativas tecnológicas para el tratamiento del efluente, valorar los criterios de cada de ellas (costo operativo anual, flexibilidad y madurez tecnológica) y estudiar su impacto ambiental y económico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tratamientos

Las tres alternativas propuestas para el manejo de efluentes generados por la actividad de tambos son:

A1: Lagunas digestoras con reutilización de agua para lavado de pisos (INTA - Rafaela).

A2: Laguna digestora: producción de abono orgánico.

A3: Biodigestor: producción de biogas y abono orgánico.

Cada una de las alternativas tecnológicas genera distintos productos tales como: A1, abono orgánico y agua para lavado de pisos; A2, abono orgánico y A3, biogas y abono orgánico.

Evaluaciones

Para cada alternativa se realizaron las siguientes evaluaciones:

Área de estudio y Estudio de beneficiarios

El área de estudio se localiza en la cuenca lechera de San Basilio, sur de Córdoba, Argentina. En esta cuenca lechera, se realizó un censo a 45 productores lecheros en el año 2008, 61 tambos, y se relevó el sistema de tratamiento de efluentes. Ningún productor gestiona los efluentes y todos los depositan en lagunas sin impermeabilizar, excepto dos (2) productores. Sólo un (1) productor ha incorporado un sistema de esparcimiento del efluente tomando los efluentes directamente desde la laguna por medio de un tanque estercolero (PEC 2009). En el PEC (2009), los productores han sido tipificados en tres categorías (ver detalles Tabla 1). La extracción de leche se realiza dos veces por día, aproximadamente en 4 hs en total. Se considera que en ese periodo el animal bostea un 20% más por el estrés.

Tabla 1. Tipificación de productores de San Basilio, Córdoba, Argentina.

| Concepto | Tipo I | Tipo II | Tipo III | Total |
|----------------------------------------------|------------|--------------|--------------|---------------|
| Productores | 23 | 15 | 7 | 45 |
| Tambos | 24 | 18 | 19 | 61 |
| Superficie operada (ha) | 259 | 618 | 2.132 | 30.151 |
| Superficie forrajera (ha) | 180 | 336 | 920 | 15.620 |
| Vacas totales | 159 | 250 | 687 | 12.216 |
| Vacas en ordeño | 114 | 185 | 535 | 9.142 |
| Trabajo EAP (personas) | 4,17 | 5,93 | 14,29 | 284,89 |
| Producción leche (lt.EAP ⁻¹ .día) | 1.919 | 3.637 | 10.290 | 170.722 |
| Ingreso anual (\$ EAP ⁻¹) | \$ 579.811 | \$ 1.098.891 | \$ 3.109.042 | \$ 51.597.404 |

Nota: el ingreso anual ha sido estimado considerando un precio constante promedio de 83 centavos el litro de leche, este valor se obtuvo de la serie de precios de grasa butirosa enfriada 1970 – 2009 perteneciente a AACREA (2010) y para convertirlo a litro se fijó un contenido de grasa butirosa de 3%. Fuente: tomado de PEC (2009).

Estudio de mercado

Para valorar los productos generados en cada alternativa se utilizaron precios de referencia obtenidos a partir del análisis del mercado energético y de fertilizantes.

- Identificación de precio para biogas: se analizó el escenario energético potencial para EE.UU. propuesto por EIA (2010) para precio, demanda y oferta de petróleo. Además se estudió la serie de precios 1977 – 2009 de gas oil para Argentina perteneciente a AACREA (2010) y en base a esta serie

se realizó una proyección de precios constantes para Julio 2025 con la ecuación de tendencia debido a su alto poder explicativo ($r^2 = 0,79$). Para obtener el precio del biogas se utilizó el equivalente energético como lo expresa la Ecuación 1.

$$P_B = 0,64 * P_G \quad \text{Ec 1. Fórmula para cálculo de precio de biogas.}$$

donde: P_B : precio de biogas en $\$/m^3$; $0,64$: coeficiente de conversión energético y P_G : precio de gas oil en $\$/l$.

- Identificación de precio para abono orgánico: se llevo a cabo el análisis de la demanda y oferta histórica del mercado argentino de urea, fosfato diamónico y superfosfato triple en base a la información provista por FAO (2010) para la serie 1990 – 2002, en tanto que para el estudio del comportamiento futuro se utilizó la predicción realizada por CASAFE (s.f.) para 2015. Al mismo tiempo se analizó la serie de precios 1977 – 2009 reportada por AACREA (2010) para urea y fosfato diamónico para el mercado argentino. Se adopto el criterio de utilizar las estimaciones de tendencia de esta serie para predecir el precio urea y fosfato diamónico para Julio 2025. Por otro lado, para valorar el abono orgánico generado en los diferentes sistemas de tratamiento se utilizan el contenido de nutriente del estiércol y el análisis de la oferta y la demanda de fertilizantes inorgánicos como urea y fosfato diamónico. Para valorar económicamente el abono orgánico se tuvo en cuenta el precio de nitrógeno, de potasio y de fósforo; siendo estos obtenidos a partir del precio de la urea (para nitrógeno) y el precio del fosfato diamónico (para fósforo). La decisión de tomar el precio de la urea para valorar económicamente el potasio aportado por el abono radica en la carencia de series de precios para fertilizantes potásicos. Para evitar la doble contabilidad se valoró el nitrógeno por medio de la urea y este valor se descontó del fosfato diamónico para estimar el valor del fósforo. La Ecuación 2. fue la utilizada para definir el precio del abono orgánico.

$$P_{AO} = \frac{[(P_N * Q_N) + (P_P * Q_P) + (P_K * Q_K)]}{Q_{AO}} \quad \text{Ec 2. Fórmula para cálculo de precio de abono orgánico.}$$

donde: P_{AO} : precio de abono orgánico; P_N : precio de nitrógeno; Q_N : cantidad de nitrógeno; P_P : precio de fósforo; Q_P : cantidad de fósforo; P_K : precio de potasio; Q_K : cantidad de potasio y Q_{AO} : cantidad de abono orgánico.

Los precios de gasoil, urea y fosfato diamónico se tomaron de la serie histórica de precios corrientes (1977 – 2009) de AACREA. Para eliminar el efecto inflacionario los precios corrientes se transformaron a precio constante a Julio 2009, utilizando el I.P.I.M. Nivel General (ver Ecuación 3).

$$P_{constante} = P_{corriente} * \left(\frac{IP_{objetivo}}{IP_{corriente}} \right) \quad \text{Ec 3. Fórmula para transformación de precios.}$$

donde: $P_{constate}$: precio constante de mes – año objetivo; $P_{corriente}$: precio corriente de mes – año; $IP_{objetivo}$: índice de precios del mes – año objetivo y $IP_{corriente}$: índice de precios corriente del mes – año.

- Identificación de precio para agua de lavado: para su valoración se consideró el ahorro de electricidad por parte de la bomba utilizada para la extracción de agua. La cantidad de kilowathoras ahorrados por el uso de agua tratada, fueron valorados por el precio final pagado por kwh a la

Cooperativa Eléctrica de San Basilio para establecimientos rurales. Es importante notar que no se pudo acceder a la serie histórica de precios del kwh y por ello se utilizó el valor de junio de 2010 como referencia.

Análisis técnico

- Localización: para definir la microlocalización se tuvo en cuenta los criterios definidos en la Ley provincial 9306/06 “Regulación de los sistemas intensivos y concentrados de producción animal (SICPA)” y los parámetros de suelo considerados en la clasificación por aptitud del suelo para el reciclado de efluentes sólidos y líquidos desarrollada por USDA (1999) y aplicada a la cuenca de San Basilio en PEC (2009).

- Tamaño: se definió en función de la tipificación de productores (ver Tabla 1) reportada en PEC (2009), para el estudio se toma el valor promedio de 200 vacas totales con 166 vacas en ordeño (considerando una relación más apropiada de vaca seca vaca en ordeño), este valor promedio se calcula en función del número total de tambos (61), este tamaño de tambo es representativo del tamaño del tambo inclusive para los productores Tipo III que la mayor producción se da por disponer de varios tambos.

- Ingeniería: las alternativas se seleccionan en base a criterios cuantitativos (costo operativo anual) y criterios cualitativos (flexibilidad y madurez tecnológica).

Para el diseño técnico de A1 y A2 se tuvo en cuenta los parámetros reportados por Taverna *et.al.*, (2004) y para A3 los informados por Hilbert (s.f.).

La cantidad de excretas y el contenido de nutrientes de las vacas en ordeño se calcularon utilizando los parámetros provistos por Krause *et al.* (2001), ponderado por el periodo de tiempo que están las vacas en las instalaciones de ordeño y corrales de espera. De este modo se obtienen los valores de estiércol y los contenidos de nutrientes del mismo. La cantidad de metano emitido se estima utilizando los parámetros de Hilbert (s.f.).

Evaluación de impacto ambiental

Se utilizó la “Guía de apoyo para desarrollar el Estudio de impacto ambiental” realizada por Pereyra *et. al.*, (2009). Se consideraron los requerimientos legales de la provincia de Córdoba, y se clasificó el tipo de proyecto. Seguidamente, se realizó la identificación de los posibles efectos del proyecto sobre agua, aire, suelo, biota, social, infraestructura, servicios y paisaje; la valoración de los impactos se llevó a cabo a través de la construcción de matrices y los indicadores se tomaron de la bibliografía; mientras que el plan de manejo ambiental se planteó en base a bibliografía.

Evaluación económica

Se realizó el análisis Beneficio – Costo (ABC) (p.e. Abelson, 1979; Contreras, 2004), considerando la valoración de una externalidad ambiental a los daños causados por los efluentes del tambo sin tratamiento. Para la valoración de la situación de referencia causada por el efluente del tambo sin tratamiento se consideró el impacto causado en la atmósfera por la emisión de gases de efecto invernadero (metano y dióxido de carbono). Para darle un valor económico a la emisión de

metano se la transforma de acuerdo a su capacidad calórica, en un equivalente energético, gasoil y se utiliza el precio de este producto para valorarlo (ver Ecuación 1). Además, para las proyecciones futuras se analizó la tendencia de esta serie de precios y el escenario propuesto por la EIA (2010).

El dimensionamiento de las inversiones considera el capital fundiario, capital de explotación y el capital de trabajo y utiliza fuentes primarias y secundarias de información. La inversión fundiaria se estimó mediante el costo de oportunidad de la tierra y se valoraron las mejoras a precio de mercado, las inversiones en capital de explotación se estimaron usando el método de presupuestos parciales y el capital de trabajo usando el máximo déficit del flujo financiero mensualizado (Sapag Chain, 1993).

Los indicadores del ABC, valor actual neto social (VAN_S), valor actual neto privado (VAN_P), tasa interna de retorno (TIR) y periodo de recupero fueron estimados considerando la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{f_t}{(1+r)^t} + \frac{R_T}{(1+r)^T},$$

$$R_T = \frac{f_T}{r},$$

donde f_t representa el flujo de beneficios netos con y sin proyecto, el subíndice t identifica el momento inicial y final del año, T el periodo de análisis (15 años), r el costo de oportunidad (10%) y R_T es el valor de los recursos con y sin proyecto al final del periodo de análisis. Este valor captura los cambios en el valor de recursos posterior al periodo de análisis considerando el valor actual de una anualidad a perpetuidad (Boardman *et al.*, 1996). En tanto, la TIR es el valor que toma r cuando el VAN es igual a cero. El periodo de recupero se estima considerando los valores actualizados. La fórmula planteada anteriormente se utiliza tanto para el cálculo de VAN_S como de VAN_P, la diferencia entre estos indicadores se debe a que el VAN_S considera en el ABC los beneficios obtenidos a partir de reducir la emisión de gases y representa el beneficio económico de toda la comunidad de San Basilio, mientras que el VAN_P no tiene en cuenta este beneficio sino que solo considera los ingresos por los productos obtenidos y constituye el beneficio económico de los productores lecheros. El análisis de incertidumbre se realiza mediante la sensibilidad del VAN ante cambios en las variables que muestran un comportamiento aleatorio en el futuro.

RESULTADOS

Capítulo 1 ESTUDIO DE LOS BENEFICIARIOS

En este apartado se describen los aspectos que se vinculan con el “Estudio de los beneficiarios”, siendo estos: identificación de los beneficiarios, caracterización de los recursos disponibles, capacidad del beneficiario para incorporar la innovación, caracterización de la situación problema y solución a la situación problema.

1.1. Identificación de los beneficiarios.

El beneficiario directo de este proyecto es un tambo representativo de la cuenca lechera de San Basilio, sur de Córdoba, Argentina. El tambo se considera que posee 200 vacas totales con 166 vacas en ordeño (considerando una relación óptima vaca ordeño/vaca seca de 83/17). Además se puede destacar otros beneficiarios que perciben mejoras en la calidad del ambiente, siendo estos: tambero asociado, trabajadores rurales y sus familias.

Se identifica como beneficiarios indirectos a empresas proveedoras de insumos y servicios generados por el proyecto y por otro lado a industrias lácteas que ganan una cuota de calidad en la elaboración de sus productos a base de materias primas que en su extracción consideran el impacto sobre el ambiente.

Los proveedores de insumos para el tratamiento de efluentes son las empresas constructoras de lagunas, fabricantes y proveedores de insumos (caños, polietileno de alta densidad, cemento, etc.) para la construcción de distintas alternativas.

1.2. Caracterización de los recursos disponibles.

En cuanto a recursos naturales, el área presenta un clima mesotermal, subhúmedo con estación invernal seca. La temperatura media del mes más frío (Julio) es de 8,5 °C, mientras que para el mes más cálido (Enero) es de 23,5 °C. La precipitación media anual es de 831 mm según registros locales, con una concentración en su distribución anual en los meses de Octubre – Abril. La presencia de una napa freática oscilante es un factor que tiene un elevado efecto sobre el riesgo de anegamiento, salinización de los suelos y contaminación ambiental, esta condición determina que la napa pueda entrar en contacto con las lagunas digestoras; sin embargo la oscilación se transformaría en un eventual aporte de agua a los cultivos (vía subterránea). (PEC 2009)

En la zona los suelos más representativos son los Argiustoles, los cuales son profundos y bien drenados. La textura es franca a franca arenosa muy fina. Los subgrupos que se presentan son Argiustoles típicos y údicos. Estos suelos poseen elevada capacidad productiva, cuya capacidad de uso es IIc. (PEC 2009).

El área es una planicie alargada en sentido norte – sur, muy suavemente ondulada, de relieve subnormal, con pendientes largas a muy largas y drenaje superficial moderado a lento. (Cantero Gutierrez *et. al.*, 1986 citado por PEC 2009).

Los recursos tecnológicos con lo que cuentan los productores de San Basilio, según lo informado por PEC (2009), son:

- producción de pasturas: alrededor del 60% de la implantación de pasturas se realiza por medio de siembra directa, la fertilización de las mismas es practicada por el 50% de los productores, más del 70% lleva a cabo rotación de cultivos y solo un 5 % mide el rendimiento de los forrajes.

- utilización de pasturas: el 100% de los beneficiarios realiza pastoreo directo.

- suplementación: 100% de los productores realiza algún tipo de suplementación, siendo en más del 90% de los casos con una fuente de energía y durante todo el año, mientras que en un 100% de los mismos realiza la entrega del suplemento en la sala de ordeño, siendo esta la categoría más suplementada.

- bajo nivel de inversiones en renovación de instalaciones en el corto plazo, especialmente en lo que respecta a tecnología de extracción y frío de la leche. El nivel de inversión también es bajo en técnicas para el bienestar animal, sólo 8 productores utilizan sombra en los corrales de espera y lotes y solo 3 utilizan aspersión o ventilación en corrales de espera.

- manejo de residuos: casi el 100% de los productores destina los mismos a una laguna digestora, la que no tiene el fondo impermeabilizado. En general hay escaso conocimiento de la cantidad y calidad del efluente producido.

Por último, los beneficiarios presentan en promedio los siguientes recursos económicos y financieros: tierra propia 632 has., tierra tomada de terceros 316 has., 200 vacas totales y una producción de leche 2.799 lts.día⁻¹ (PEC 2009). Tomando un valor de tierra de \$20.000, el capital de tipo fijo sería de \$12.641.311, mientras que el capital de explotación ronda los \$600.000 si el precio por vaca fuera de \$3.000.

1.3. Capacidad del beneficiario para incorporar la innovación.

El análisis de la historia del sector lácteo de San Basilio muestra una tendencia a la alta incorporación de innovaciones, tanto a nivel productivo como comercial. Esto se observa en la utilización de tecnologías como siembra directa, fertilización de pasturas, suplementación, luz eléctrica, tanque de frío, generación de valor agregado por medio de la industrialización, entre otras.

Un aspecto clave que actúa como disparador de cambio obligado es la existencia de la Ley provincial 9306/06 que plantea la utilización de un sistema de manejo de efluentes que lleve a la protección de la salud humana, de los recursos naturales, de la producción animal y la preservación de la calidad de los alimentos y materias primas de origen animal.

1.4. Caracterización de la situación problema.

El manejo actual de los residuos representa una debilidad para el sistema de producción de leche. Ningún productor gestiona los efluentes y todos los depositan en lagunas sin impermeabilizar (excepto dos (2) productores) y en general hay desconocimiento de la cantidad y calidad del efluente

generado. Solo un (1) productor ha incorporado un sistema de esparcimiento del efluente tomando los efluentes directamente desde la laguna por medio de un tanque estercolero (PEC 2009).

Esta situación tiene altos riesgos de generar impactos negativos sobre el ambiente, como: a) emisión de gases efectos invernaderos (EGEI) (p.e. metano y dióxido de carbono) y olores desagradables, b) contaminación de la capa freática por nutrientes (nitratos y nitritos) y patógenos, c) alteración de biota (proliferación de insectos p.e. moscas, mosquitos), y d) contaminación del suelo por inutilización parcial. Es importante notar que además de los perjuicios ambientales que acarrea esta situación, también trae aparejado posibles incumplimientos legales a nivel provincial.

En la Ilustración 1. se observan en forma desagregada las distintas causas que conducen a la generación de este problema, entre las cuales se encuentran: a) desconocimiento de los potenciales perjuicios ambientales (impactos negativos citados en el párrafo anterior) y beneficio económico no captado, b) escasa aplicación de la legislación existente (ley provincial 9306/06) y c) carencia de ofertas tecnológicas locales para el tratamiento y aprovechamiento de este tipo de residuos.

El desconocimiento de los perjuicios ambientales y de la oportunidad económica de la situación actual posiblemente este explicada por una falta de generación de información local y nacional; de sistematización de información nacional e internacional existente y de divulgación de estudios ya realizados. Esto se observa en que a nivel local el único antecedente de información es el diagnóstico realizado en 2009 por PEC (2009), en el plano nacional INTA Rafaela e INTA Castelar han abordado esta problemática pero generando información mayormente desde el ámbito técnico, en cuanto al contexto internacional, si bien existen numerosos y distintos antecedentes (p.e. Yiridoe *et al.*, 2009 en Canadá; Harris, 2009 en Australia; Giesy *et. al.*, 2009 y EPA, en Estados Unidos) estos no han sido trasladados masivamente a la situación nacional y menos aún a nivel local.

En cuanto al aspecto legal la existencia de un marco regulatorio Ley 9306/06 de la provincia es importante porque define los límites de acción para los actores involucrados; sin embargo su aplicación ha sido escasa y consecuentemente se desconoce y se ignoran las obligaciones que deben asumir los actores involucrados. El origen de esta situación es múltiple y obedece a la falta de presupuesto público y personal de campo para la fiscalización de la ley, escasa demanda al estado para fiscalizar males públicos, y a que la contaminación se encuentra actualmente alejada o no percibida por los posibles damnificados.

Otro aspecto importante lo constituye la falta de oferta a nivel local de diferentes alternativas tecnológicas para tratar y aprovechar los residuos de tambo. Esto ocurre debido a que las ofertas de tecnología de insumos están sesgadas hacia la producción lechera sin considerar el ambiente y no se reconoce el beneficio de tratar y aprovechar los residuos generados.

En relación a la información sobre los sistemas de tratamientos de efluente y el posible aprovechamiento es muy escasa la información generada en el país y particularmente para los productores de San Basilio. En este sentido, este trabajo final pretende cerrar esta brecha de conocimiento mediante la sistematización de sistemas de tratamiento de efluentes y su evaluación.

La incorporación de un sistema de manejo de efluentes más controlado y de menor impacto ambiental permitirá obtener la producción de leche de forma más amigable con el ambiente y quedar dentro del marco legal provincial. Otro punto de interés es la posibilidad de generar insumos propios o de incrementar los ingresos por venta de productos o certificación del proceso productivo, de acuerdo a la alternativa tecnológica seleccionada dentro del proyecto, lo cual podría tener algún beneficio económico para el productor.

Si no se interviene deliberadamente el problema se agudizará gradualmente a nivel de contaminación ambiental, resultando en cada vez mayores costos para su resolución, y muy probablemente mayor riesgo de conflictos legales. En este sentido, es esperable la generación de conflictos entre productores y estado provincial, debido a que las condiciones de manejo actuales no son las correctas de acuerdo a lo establecido en la Ley, en la mayor parte de los casos.

Desde el punto de vista ambiental, los efectos de la degradación del ambiente local ya sea a nivel de contaminación de napas freáticas o de vías de escurrimiento puede empezar a manifestarse más agudamente, y reducir la calidad del hábitat de los habitantes en el medio rural, más específicamente del productor lechero, del tambero y de sus familias.

En el plano económico, se genera una situación de pérdida de oportunidades ya sea a través de la reducción de costos (p.e. producción de energía propia y/o abono orgánico) y de incremento de ingresos (p.e. venta de abono orgánico, diferenciación de precios por certificación bajo normas de producción ISO 14000 y de producción orgánica). Por otro lado, existen países más avanzados, como así también, cadenas de comercialización de productos lácteos que exigen responsabilidad ambiental y que pueden aún constituirse en una barrera para arancelaria, como por ejemplo GLOBALGAP.

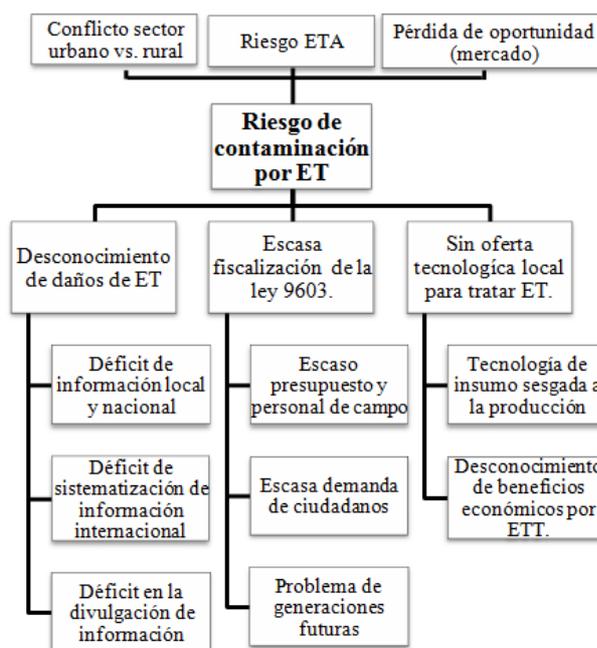


Ilustración 1. Árbol de problemas de la situación actual.

Nota: *ETA*: enfermedades transmitidas por animales, *ET*: efluente de tambor, *ETT*: efluente tambor tratado. Fuente: elaboración propia.

1.5. Solución a la situación problema.

La solución de la situación problema (ver Ilustración 2.) requiere de la acción conjunta de los distintos actores involucrados en la producción lechera. Estos actores tienen roles y responsabilidades diferentes y se desarrollan tanto en el ámbito público como privado, entre ellos se encuentran: productores, Estado y ciudadanos.

El Estado posee distintos campos de acción, por un lado a través de agencias de extensión puede generar conocimiento en los productores o sistematizar y adaptar información existente a nivel internacional, mostrando las ventajas ambientales y económicas de tratar y aprovechar los residuos. Además por medio del poder legislativo puede destinar más presupuesto para la capacitación y aumento de personal de campo lo que permitirá una mayor aplicación de la ley ya existente.

Los productores deben comenzar a adoptar tecnologías que le permitan cumplir con sus obligaciones legales y mitiguen los impactos ambientales negativos que genera la producción de leche, con lo cual la demanda de las mismas será mayor.

Por último los ciudadanos deben hacer valer sus derechos y exigir que se cumpla la normativa existente independientemente de que el problema de convivencia (urbano – rural) se manifieste hoy o en un futuro cercano.

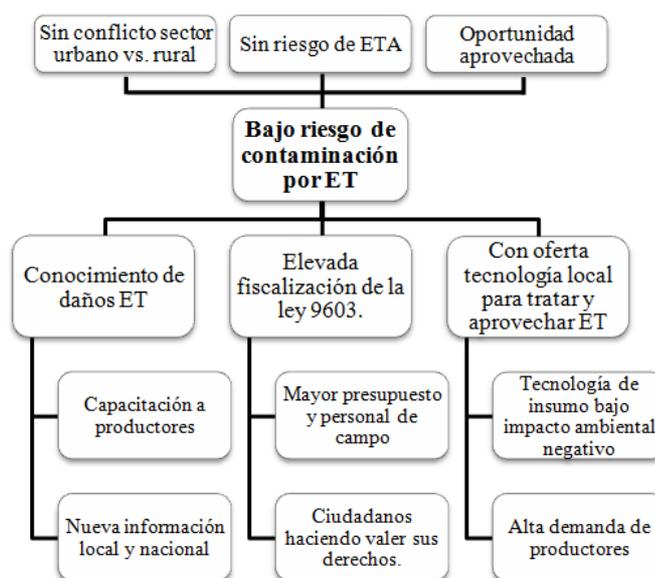


Ilustración 2. Árbol de soluciones para la situación actual.

Nota: *ETA*: enfermedades transmitidas por animales, *ET*: efluente de tambo, *ETT*: efluente tambo tratado. Fuente: elaboración propia.

De manera específica para remediar la situación problema es necesario contar con un sistema de manejo de residuos global que incluya el tratamiento de a) efluentes generados en la instalación de ordeño y corrales de espera; b) animales muertos y c) materiales inorgánicos (p.e. plásticos, metales, vidrios, etc.).

Un sistema de manejo de efluentes consiste en la transformación del efluente en agua tratada y productos inorgánicos, con dos subprocesos, los cuales son: tratamiento de las fracciones líquidas y sólidas y aprovechamiento de los productos generados (ver Ilustración 3.). El efluente producido en la instalación de ordeño y los corrales de espera junto con el agua de limpieza constituyen el principal insumo del tratamiento. También, son requeridos para el manejo de efluente: energía (electricidad, y combustible), trabajo, asistencia técnica, e insumos para mantenimiento del sistema.



Ilustración 3. Esquema de sistema de manejo de efluentes.

Fuente: elaboración propia.

Se han identificado tres alternativas para realizar la gestión del efluente, cuyos productos son identificados (A1, A2 y A3) en la parte inferior de la Ilustración 3:

A1: Lagunas digestoras con reutilización de agua para lavado de pisos (INTA - Rafaela);

A2: Laguna digestora: producción de abono orgánico;

A3: Biodigestor: producción de biogas y abono orgánico.

En la Ilustración 3., puede observarse que a partir del mismo efluente se diferencian los productos: en A1) agua para lavado y abono orgánico; en A2) abono orgánico solamente; y A3) biogas y abono orgánico. Las inversiones para montar estos sistemas de tratamiento, como así también, la necesidad de los otros insumos varían entre las alternativas y serán explicitadas en los estudios técnicos.

Capítulo 2 ESTUDIO DE MERCADO

Si bien no existe un mercado desarrollado para la venta de productos derivados del tratamiento de efluentes es posible asignar un valor monetario utilizando métodos *ad hoc*. En este apartado se describe en primer lugar la naturaleza de los productos que se obtiene del tratamiento de efluentes de las instalaciones de ordeño y corral de espera de un tambo representativo de San Basilio y posteriormente se otorga un valor a los insumos requeridos por el sistema de tratamiento.

2.1. Productos generados e identificación de precios

Los productos principales que se producen por la implementación de un sistema de manejo de efluentes son: agua para lavado y abono orgánico para A1, abono orgánico para A2 y biogas y abono orgánico para A3. Además para cada producto principal existe uno o más productos sustitutos. En la Tabla 2. se sintetizan los productos principales generados por A1, A2 y A3 y los productos sustitutos para cada uno, estos productos sustitutos pueden ser utilizados para obtener un precio sombra.

En la situación sin tratamiento de efluentes se producen varios daños ambientales, pero no todos son valorados a través de los productos obtenidos con el tratamiento, lo cual genera una subvaloración económica desde el punto de vista de la sociedad. En la Tabla 2., se muestra para la situación de sin tratamiento, algunos de los diferentes daños ambientales que han sido valorados por medio de los precios de productos sustitutos y aquellos que no ha podido ser valorado en este trabajo. Por ejemplo, la composición del abono orgánico, producto del tratamiento de efluentes, tiene nutrientes, tales como nitrógeno, fósforo. Dado que no disponemos del precio del abono orgánico, utilizamos los precios de los nutrientes nitrógeno y fósforo provenientes de fertilizantes químicos.

Tabla 2. Productos principales y sustitutos para A1, A2, A3

| Alternativa | Producto principal | Producto sustituto |
|------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1 | Abono orgánico | Fertilizantes inorgánicos nitrogenados (p.e. urea) y fosfatados (p.e. fosfato di amónico y superfosfato triple) |
| | Agua para lavado | Extracción de Agua de pozo |
| A2 | Abono orgánico | Fertilizantes inorgánicos nitrogenados (p.e. urea) y fosfatados (p.e. fosfato di amónico y superfosfato triple) |
| A3 | Biogas | Electricidad, gas natural y gas oil |
| | Abono orgánico | Fertilizantes inorgánicos nitrogenados (p.e. urea) y fosfatados (p.e. fosfato di amónico y superfosfato triple) |
| Situación actual | EGEI | Biogas |
| | Contaminación de napa freática por nutrientes | No valorado |
| | Contaminación de napa freática por patógenos | No valorado |
| | Producción de olores desagradables | No valorado |
| | Proliferación de biota (p.e. moscas y mosquitos) | No valorado |

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta la identificación de precios, para los distintos productos principales, basada en el análisis histórico, actual y potencial de la oferta, demanda y precios de los productos sustitutos.

Identificación de precio para biogas

La crisis energética y las prospectiva de precios en alza para el petróleo han generado posibilidades para el desarrollo de fuentes alternativas de energía (Chidiak y Stanley, 2009). Por ejemplo, el escenario proyectado por EIA (2010) para el principal consumidor energético mundial, EE.UU., muestra la creciente importancia de la energía renovable y las expectativas de precio alto para todos los derivados de petróleo. En el Gráfico 1., se destaca el incremento del precio final. Esta situación alcista para el precio es causada probablemente porque la oferta se mantiene constante (15 millones de barriles/día para 2007 y para 2035) mientras que la demanda crece con el paso de los años (22 millones de barriles/día para 2035). Esta brecha y el precio alcista, hace que se piense en otros tipos de fuentes de energía, por ejemplo, energía renovables, como el biogas.

En Argentina, en el Gráfico 2, se presenta la evolución y la tendencia del precio constante a Julio 2009 de gas oil, para la serie 1977 – 2009 de AACREA (2010). El análisis de tal situación manifiesta un incremento a partir del año 1987 y una alta variabilidad. Esta tendencia en alza junto con la proyección propuesta por EIA (2010) indica una probabilidad elevada de que los precios para el gas oil sean elevados para los próximos años, esto supone una perspectiva favorable de mercado para energías alternativas como biogas. En base a este análisis se realizo una proyección de precios constantes para Julio 2025 con la ecuación de tendencia (r^2 0,79). Para obtener el precio del biogas se utilizo el equivalente energético de la siguiente manera: Precio biogas ($\$/m^3$) igual a 0,64 del precio del gas oil en $\$/l$. Debido a la variabilidad de precios, y las diferencias entre esta proyección y la de EIA (2010) se realiza un análisis de escenarios, en la Tabla 3, se presentan los precios de gas oil y su respectivo precio de biogas según proyección AACREA (2010) ó EIA (2010).

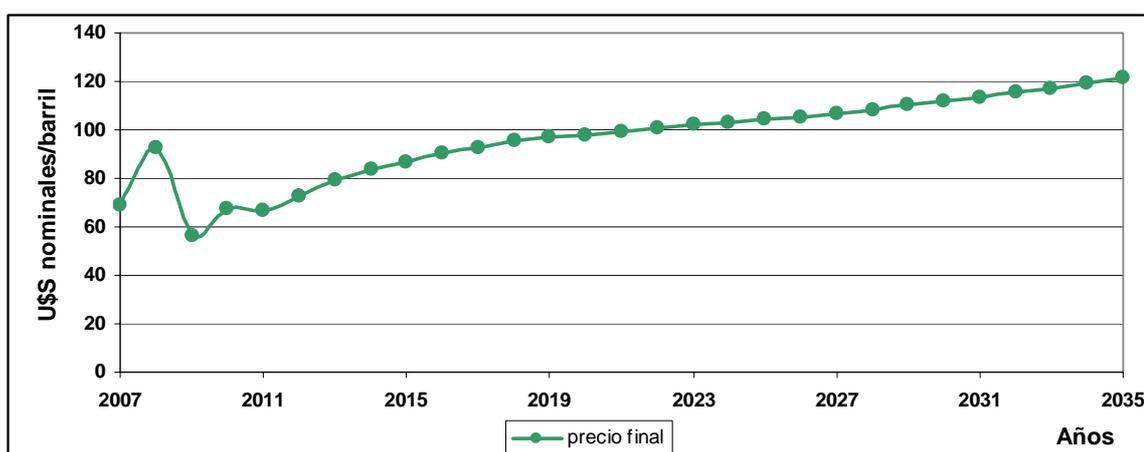


Gráfico 1. Proyección de precio final de petróleo para EE.UU.

Fuente: tomado de EIA (2010).

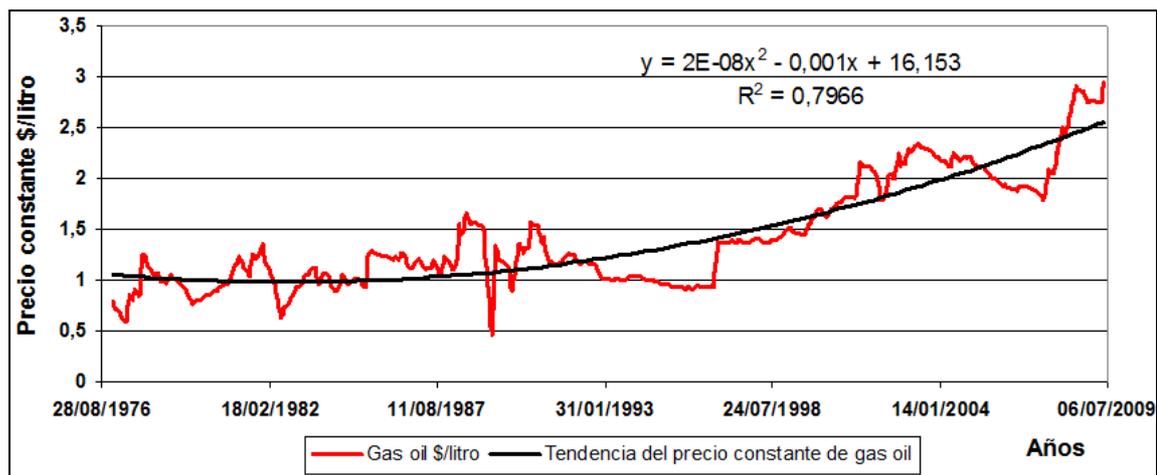


Gráfico 2. Evolución de precio constante de gas oil para Argentina.

Fuente: tomado de AACREA (2010)

Tabla 3. Proyección de precios constantes para gas oil y biogas con escenario AACREA (2009) y EIA (2010).

| Escenario | Periodo de inicio y fin (07/2011 a 07/2025) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| AACREA (r = 4,5%) | | | | | | | | | | | | | | | |
| gas oil \$c/l | 2,81 | 2,94 | 3,07 | 3,21 | 3,35 | 3,50 | 3,66 | 3,82 | 4,00 | 4,18 | 4,36 | 4,56 | 4,77 | 4,98 | 5,20 |
| biogas \$c/m ³ | 1,80 | 1,88 | 1,96 | 2,05 | 2,14 | 2,24 | 2,34 | 2,45 | 2,56 | 2,67 | 2,79 | 2,92 | 3,05 | 3,19 | 3,33 |
| EIA (r = 2,5%) | | | | | | | | | | | | | | | |
| gas oil \$c/l | 2,81 | 2,88 | 2,95 | 3,03 | 3,11 | 3,18 | 3,26 | 3,35 | 3,43 | 3,52 | 3,61 | 3,70 | 3,79 | 3,89 | 3,99 |
| biogas \$c/m ³ | 1,80 | 1,84 | 1,89 | 1,94 | 1,99 | 2,04 | 2,09 | 2,14 | 2,20 | 2,25 | 2,31 | 2,37 | 2,43 | 2,49 | 2,55 |

Nota: r: tasa de incremento anual del precio constante del gas oil para cada escenario, \$c: pesos constantes.

Fuente: elaboración propia.

Identificación de precio para abono orgánico

El análisis realizado sobre el mercado argentino de fertilizantes inorgánicos: urea y fosfato diamónico muestra una demanda creciente a nivel nacional con un marcado incremento de precios en la última década. En base a la información provista por FAO (2010) se puede observar un cambio drástico en el mercado de la urea. Aunque se quintuplico el consumo interno entre 1990 y 2002, el país pasó de importador neto a ser prácticamente autosuficiente (ver Gráfico 3.). En tanto, en el mercado de fosfato diamónico el consumo nacional aumento en forma más drástica que la urea aunque el país depende en un cien por ciento de las importaciones (ver Gráfico 4.). CASAFE (s.f.) proyectó que aumentará la demanda interna alcanzando para el año 2015 los 4,5-4,6 millones de toneladas de fertilizantes incluyendo nitrogenados y fosfatados como los principales. Por lo tanto, es esperable que en la proyección de los abonos orgánicos también se incremente en forma similar a los inorgánicos o sustituya parcialmente su utilización.

Por otro lado, los precios de los fertilizantes inorgánicos se espera que aumenten. En el Gráfico 5. se muestra la evolución y la tendencia del precio constante a julio 2009 de la urea y fosfato diamónico en Argentina en base a la serie histórica de precios 1977 – 2009 provista por AACREA (2010). Se puede apreciar que la variabilidad de los precios de estos productos es alta y también la tendencia alcista a partir del año 2001. Esta tendencia alcista de los precios de los fertilizantes inorgánicos es altamente probable se mantendrá en el futuro debido a que la producción de

fertilizantes nitrogenados y fosfatados requiere de energía fósil para su elaboración, y que prácticamente todas las perspectivas de los precios del petróleo aumentan en el futuro (p.e. EIA 2010). Por lo tanto, se considera que el precio de abono orgánico tendrá un comportamiento similar. Por ello, se adoptó el criterio de utilizar las estimaciones de tendencia para predecir el precio urea y fosfato diamónico para Julio 2025 en función de las ecuaciones provistas en el Gráfico 5., para luego conocer el precio del abono orgánico. Por otro lado, dada la alta variación se realiza el análisis de sensibilidad para ver su incidencia en la viabilidad económica.

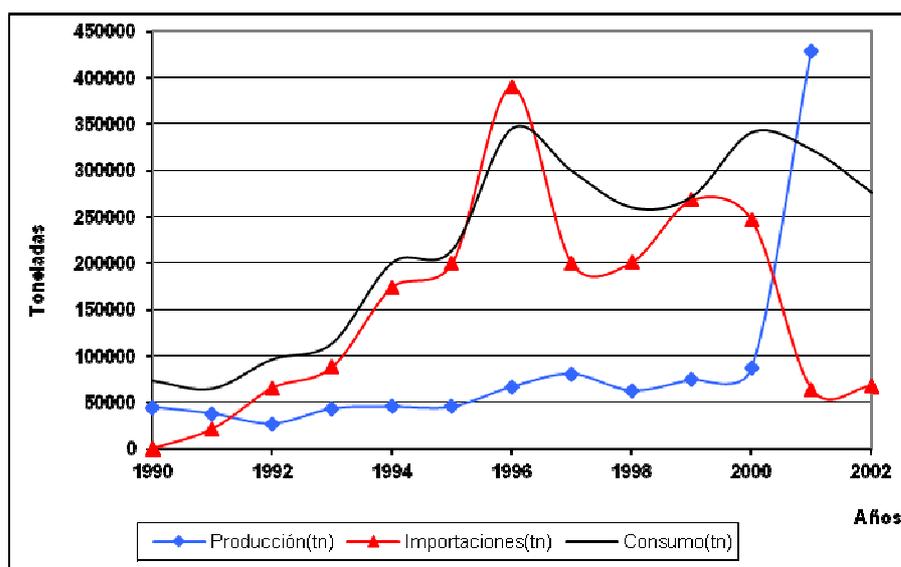


Gráfico 3. Evolución de producción, importaciones y consumo de urea en Argentina. Fuente: FAO (2010).

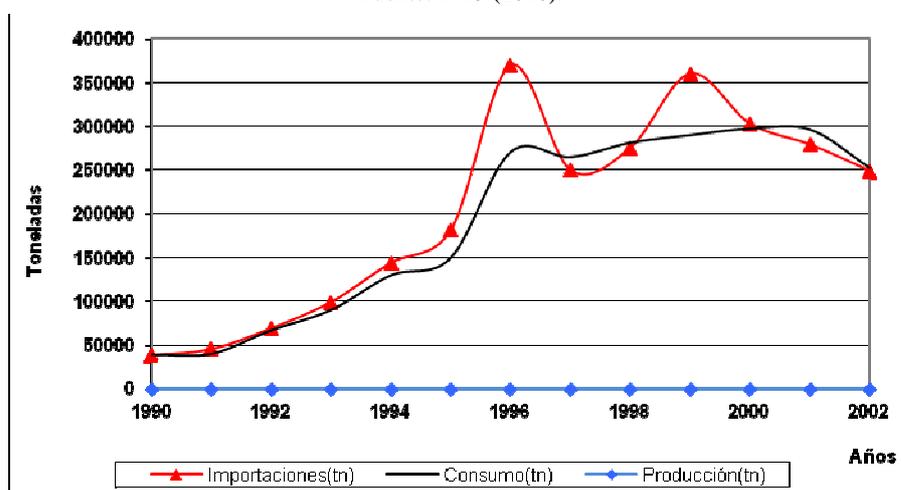


Gráfico 4. Evolución de importaciones, consumo y producción de fosfato diamónico en Argentina. Fuente: FAO (2010).

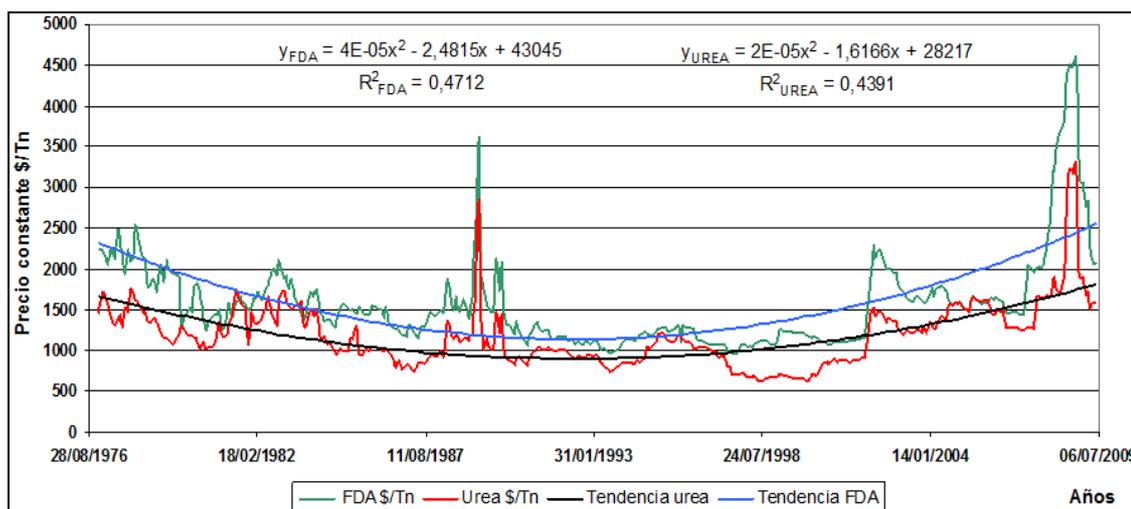


Gráfico 5. Evolución y tendencia de precio constante Julio 2009 para urea y fosfato diamónico.
 Nota: FDA: fosfato diamónico. Fuente: tomado de AACREA (2010).

Identificación de precio para agua de lavado.

La Cooperativa Eléctrica de San Basilio realiza una clasificación de los consumidores pertenecientes al área rural de esta localidad para definir el precio pagado por kwh. Primeramente se clasifica a los usuarios según el nivel de potencia requerida (transformador de distintas capacidades, p.e. 40 kVA, 25kVA, etc.) y de acuerdo a esto se fija un consumo mínimo mensual el cual lleva adosado un cargo fijo, luego se tiene en cuenta si el productor va superando o no escalones de consumo a lo largo del mes pero superar un escalón de consumo no significa pagar más por kwh consumido, por el contrario se paga menos. El precio considerado para este estudio fue de 0.57\$/kwh, siendo lo que paga un productor con una demanda de potencia de 40 kVA y un consumo de 1500 kwh/mes.

2.2. Insumos demandados

Los insumos requeridos para cada alternativa, en general son similares, y se detallan a continuación. El insumo principal para este proyecto lo constituyen los efluentes líquidos y sólidos de tambo, ya que son la materia prima elemental para la obtención de biogas y abono orgánico como así también para el reciclado de agua para lavado de pisos.

Otro insumo de importancia es el gas oil, debido a que es la fuente de energía para las alternativas que requieren de movilización de abono orgánico por medio de maquinarias. Además se requiere de: lubricantes (mantenimiento de maquinarias), electricidad, un operario, asesoramiento e insumos para mantenimiento (del sistema y del predio).

La oferta de efluente depende del tamaño del tambo, sistema de alimentación y de ordeño. Es esperable que en el futuro se incrementará por el propio proceso de intensificación de la actividad lechera. Para el efluente no existen precios, por lo cual se considerará como valor monetario cero.

Para, los otros insumos como el gas oil se tomara el precio arrojado por la proyección de precios constantes para Julio 2025 con la ecuación de tendencia perteneciente a la serie histórica 1977 – 2009 perteneciente a AACREA (2010) (ver Gráfico 2).

En síntesis en la Tabla 4. se presentan los precios utilizados para valorar los insumos y productos pertenecientes a cada alternativa.

Tabla 4. Precios por año para insumos y productos.

| Concepto | Periodo de inicio y fin (07/2011 a 07/2025) | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Gas oil \$c/l | 2,81 | 2,94 | 3,08 | 3,22 | 3,36 | 3,51 | 3,66 | 3,82 | 3,98 | 4,14 | 4,31 | 4,49 | 4,66 | 4,85 | 5,04 |
| Efluente \$/l | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Abono orgánico \$c/kg | 0,24 | 0,26 | 0,27 | 0,29 | 0,31 | 0,33 | 0,35 | 0,37 | 0,39 | 0,42 | 0,44 | 0,47 | 0,50 | 0,53 | 0,57 |
| Agua para lavado \$c/m ³ | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 |
| Biogas \$c/m ³ | 1,80 | 1,88 | 1,96 | 2,05 | 2,14 | 2,24 | 2,34 | 2,45 | 2,56 | 2,67 | 2,79 | 2,92 | 3,05 | 3,19 | 3,33 |

Nota: \$c: pesos constantes.

Capítulo 3 ANÁLISIS TÉCNICO

En esta sección se hace hincapié en el diseño y dimensionamiento de las alternativas tecnológicas citadas, exponiendo la localización del sistema, cuantificación del efluente producido, construcción de la infraestructura necesaria para el funcionamiento, cuantificación física y económica de las inversiones requeridas y cantidad de producto obtenido después del tratamiento en cada alternativa.

3.1. Localización.

La Ilustración 4. muestra la macrolocalización del sistema de manejo de efluentes, siendo la misma la cuenca lechera de San Basilio, ubicada en el Departamento de Río Cuarto al sur de la Provincia de Córdoba, Argentina.

La microlocalización (ver Ilustración 5.) del sistema de manejo de efluentes dentro de la cuenca se encuentra al Sur Oeste de la localidad de San Basilio, latitud 33° 30' S y longitud 64° 19' O (Google Earth ®, 2010). Esta ubicación queda definida por la Ley provincial 9306 “Regulación de los sistemas intensivos y concentrados de producción animal (SICPA)” y por la aptitud del suelo para el reciclado de efluentes sólidos y líquidos. La normativa provincial define zonas críticas para el establecimiento de plantas de tratamiento de residuos ganaderos, siendo estas las localizadas a una distancia inferior a los tres kilómetros de poblaciones, vertientes de agua, ríos, arroyos, lagunas y lagos, como así también en aquellos lugares donde la profundidad del acuífero libre sea menor a los diez metros de profundidad en el período de alta. Por otro lado de acuerdo a lo informado por PEC (2009) en su clasificación de suelos de la cuenca por su aptitud para la aplicación de efluentes sólidos y líquidos existen 16 tambos en zonas de alta aptitud.

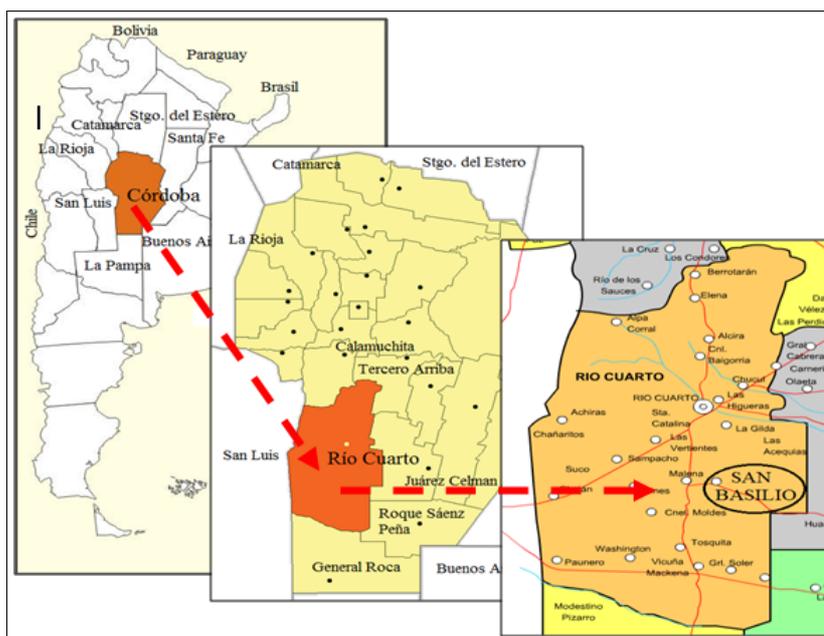


Ilustración 4. Macrolocalización del sistema de manejo de efluentes.

Fuente: elaboración propia.

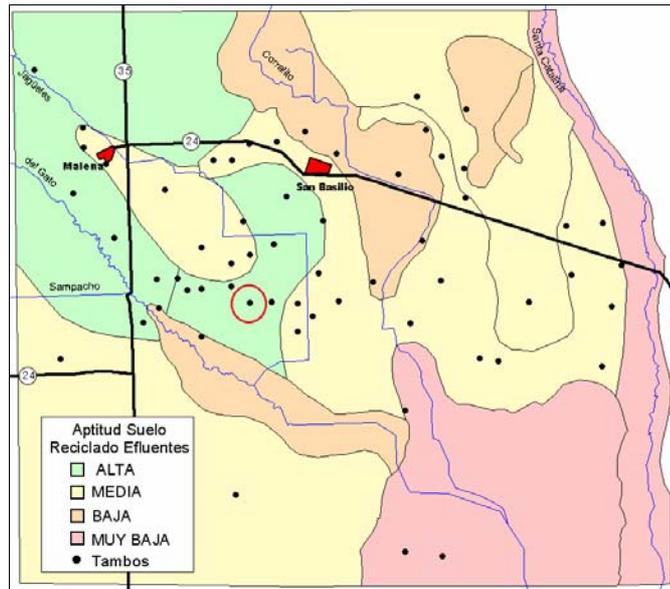


Ilustración 5. Microlocalización del sistema de manejo de efluentes.

Nota: círculo rojo marca la localización.

Fuente: tomado de PEC, 2009.

3.2. Tamaño.

Se considera el volumen de efluente producido por 200 vacas totales, el mismo se origina en la instalación de ordeño y corrales de espera. El efluente de tambo posee una consistencia semi – líquida; está compuesto generalmente por: bosta y orina, residuos de leche (chorros previo a la colocación de pezoneras), residuos de alimentos y agua de lavado. Este residuo se genera desde que la vaca ingresa al corral de espera hasta que se retira de la sala de ordeño. En la Tabla 5. se presentan los parámetros que caracterizan el residuo animal y la composición química para una vaca en ordeño en confinamiento (Krause *et al.*, 2001) y se estima la cantidad de compuestos químicos y de estiércol para 166 vacas en ordeño para un sistema pastoril y ponderando el estiércol por el periodo de ordeño, además muestra los volúmenes de efluente sólido y líquido que se manejan anualmente.

Tabla 5. Estimación y características de excretas en instalaciones de tambo para 166 vacas en ordeño.

| Parámetros | Unidades | Individuos | Total |
|-------------------|---------------------|------------|--------|
| Vaca ordeño | Nº | 1 | 166 |
| Peso vivo | kg | 545 | 90.387 |
| Excretas | kg/día | 45 | 1.545* |
| Densidad | kg/l | 0,9931 | 0,9931 |
| Sólidos totales | kg/día | 5,67 | 196* |
| Sólidos volátiles | kg/día | 4,60 | 159* |
| Contenido de agua | % | 87,30 | 87,30 |
| Nutrientes | | | |
| Nitrógeno | kg/día | 0,222 | 4,129 |
| Fósforo | kg/día | 0,090 | 1,699 |
| Potasio | kg/día | 0,176 | 3,266 |
| Efluente líquido | m ³ /año | - | 3.030 |
| Efluente sólido | kg/año | - | 71.571 |

Fuente: elaboración propia con parámetros de Krause *et al.* (2001). Nota: * ponderado por 5/24, se considera que en ese periodo el animal bosteja un 20% más por el estrés.

3.3. Ingeniería.

A continuación se presentan la descripción y el diseño técnico de las alternativas: A1: lagunas digestoras con la reutilización de agua para lavado de pisos y producción de abono orgánico, desarrollada por INTA Rafaela; A2: Laguna digestora: producción de abono orgánico; y A3: biodigestor: producción de biogas y abono orgánico. Cabe aclarar que en A1 y A2 se plantea la separación del efluente en su fracción líquida y sólida mientras que en A3 no se practica tal separación.

Cada alternativa presenta un Esquema que permite obtener una dimensión espacial de la planta del sistema de manejo de efluentes y sus componentes.

A1: Lagunas digestoras con la reutilización de agua para lavado de pisos.

Subproceso tratamiento

Separación de fracción sólida y líquida (A1 y A2)

Este proceso se encuentra tanto en A1 como en A2. Para la separación de la fracción sólida y líquida se requiere de una pileta de sedimentación (ver Ilustración 6.), ubicada después del corral de espera, el efluente llega por un canal a cielo abierto.

La estructura posee dos cámaras, la primera se encarga de acumular los sólidos (B) mientras que la segunda almacena la parte líquida (C). La división de las cámaras se logra por medio de maderas que forman una pared, pero están separadas entre sí (Taverna *et. al.*, 2004). La primera cámara puede almacenar 1960 kg de excretas durante 10 días (1,2 kg sólidos totales/VO/día en la instalación de ordeño), momento en el que debe limpiarse con un tractor con pala frontal. En la cámara C se coloca una bomba centrífuga con eje elevado, que trabaja con un caudal 20 m³/h, teniendo la función de practicar el vaciado de la misma en forma diaria, llevando el efluente por una tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) hacia la laguna anaeróbica (Taverna *et. al.*, 2004) de cada alternativa.

Para la construcción de la pileta de sedimentación se lleva a cabo una excavación, luego se colocan maderas entre las cámaras B y C (ver Ilustración 6.) y se reviste con hormigón las paredes y el piso de la pileta. El espesor de la capa de hormigón es de 0,10 m. Además es necesario realizar el movimiento de tierra correspondiente para la construcción de una canal a cielo abierto de sección trapezoidal, que comunica el corral de espera con la pileta de sedimentación; el cual es de 1 m de longitud, revestido con hormigón de 0,10 m de espesor y posee una pendiente de 1,5% (Taverna *et. al.*, 2004). En la cámara C se debe instalar una bomba centrífuga y se conecta con una tubería de PEAD de 2" de diámetro que llega hasta la laguna anaeróbica. Para el funcionamiento de la bomba se realiza un tendido eléctrico desde la instalación de ordeño (fuente de energía más cercana). Las dimensiones de la pileta de sedimentación se detallan en la Tabla 6.

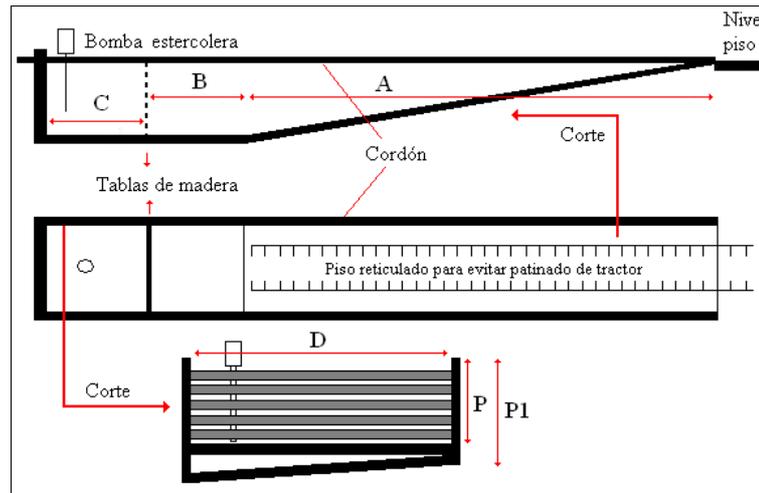


Ilustración 6. Esquema de pileta de sedimentación de sólidos.

Fuente: tomando de Taverna *et. al.* (2004).

Tabla 6. Dimensiones de la pileta de sedimentación

| Valores (m) de la pileta de sedimentación | | | | | |
|--------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| A | B | C | D | P | P1 |
| 4 | 1,1 | 0,5 | 3,5 | 0,5 | 0,6 |

Fuente: elaboración propia.

Tratamiento de sólidos

El tratamiento para la fracción sólida consiste en esparcir la misma sobre una superficie (plataforma de sólidos), exponiéndola así a la radiación solar lo que posibilita la reducción de la carga orgánica del residuo. La superficie de depósito debe ser impermeable (cemento, plástico, membranas geotextiles, etc.) debido a que esto permite evitar la contaminación de la napa freática por lixiviación de nitratos y nitritos. En este estudio se plantea la construcción de un piso, en una superficie de 10 m² y 0,05 m de espesor de hormigón, permitiendo almacenar una capa de sólidos de 0,20 m de espesor durante 15 días. Previo a la colocación del hormigón se debe realizar el emparejado del terreno.

Tratamiento de líquidos

Para la fracción líquida se propone el uso de tres depósitos permanentes o lagunas digestoras que trabajan en serie, en la primera ocurre un fermentación anaeróbica del residuo mientras que en las dos posteriores la fermentación es de tipo facultativa, todas las lagunas deben ser impermeabilizadas con PEAD de 1500 micras y se encuentran comunicadas entre sí por tuberías de PVC de 4". La laguna anaeróbica posee una capacidad de almacenaje de 374 m³ y el tiempo de almacenaje es de 45 días, una vez colmada su capacidad el efluente pasa a la primera laguna facultativa de 291 m³ de capacidad y el tiempo de almacenaje es de 35 días, luego pasa a la segunda laguna facultativa de la misma capacidad y tiempo de almacenaje que la primera, estos tiempos de almacenaje o de retención permiten disminuir la carga orgánica del efluente. Posteriormente pasa por un filtro de arena y piedras de distinto tamaño para finalmente acumularse en un depósito de agua tratada el cual posee 25 m³ de capacidad. El movimiento del efluente a lo largo del circuito de tratamiento se da por flujo pistón, de esta manera el volumen que ingresa diariamente va cumpliendo con los tiempos de almacenaje en cada compartimiento de tratamiento y solo sale del proceso de transformación aquel volumen que ha sido

tratado, es decir se establece un balance entre el flujo de efluente que ingresa al sistema y el flujo que sale de este ya tratado y con posibilidad de ser aprovechado; p.e. para la laguna anaeróbica el día 45 ingresan $8,3 \text{ m}^3$ de efluente sin tratar que desplazan $8,3 \text{ m}^3$ de efluente con un grado de tratamiento hacia la laguna facultativa, pero el stock de efluente en la laguna anaeróbica se mantiene en 374 m^3 .

El primer paso para la construcción de la laguna anaeróbica es practicar el movimiento de tierra, en este caso el volumen de tierra a cortar será de 475 m^3 . Luego se debe realizar el impermeabilizado del depósito, para esto se colocan 110 m^2 de membrana de PEAD de 1500 micrones de espesor, se debe solapar un 3%. Para las lagunas facultativas, el procedimiento es el mismo que para la laguna anaeróbica solo que el volumen de tierra a cortar es 427 m^3 y la cantidad de membrana PEAD es de 185 m^2 para cada una. El filtro de arena y piedra se construye practicando una excavación de 40 m^2 de superficie y una profundidad de 1 m. posteriormente se colocan piedras de distintos tamaños (a mayor profundidad las de mayor tamaño) y arena en la parte superior. Para el depósito se realiza una excavación de 2,5 m de profundidad y paredes y pisos se revisten con hormigón de 0,10 m de espesor. (Taverna *et. al.*, 2004)

En la Tabla 7. se presentan las dimensiones de las distintas estructuras y en las Ilustración 7. se muestra un esquema orientativo de las dimensiones de la laguna anaeróbica y facultativas.

Tabla 7. Dimensiones de estructuras de la planta de tratamiento de A1.

| Estructuras | Dimensión (m) |
|---------------------------------------|----------------------|
| Plataforma de sólidos | |
| longitud | 5 |
| ancho | 2 |
| Laguna anaeróbica | |
| longitud superior de almacenaje (Lsa) | 18 |
| ancho superior de almacenaje (Asa) | 9 |
| talud | 0,5:1 |
| profundidad de almacenaje (Pa) | 3 |
| longitud superior de corte (Lsc) | 19 |
| ancho superior de corte (Asc) | 10 |
| profundidad total (Pt) | 3,6 |
| 1° y 2° laguna facultativa | |
| longitud superior de almacenaje (Lsa) | 24 |
| ancho superior de almacenaje (Asa) | 9 |
| talud | 0,5:1 |
| profundidad de almacenaje (Pa) | 1,5 |
| longitud superior de corte (Lsc) | 24 |
| ancho superior de corte (Asc) | 10 |
| profundidad total (Pt) | 2,1 |
| Filtro de arena y piedra | |
| longitud | 10 |
| ancho | 4 |
| profundidad | 1 |
| Depósito agua tratada | |
| longitud | 3,5 |
| ancho | 3 |
| profundidad | 2,5 |

Fuente: elaboración propia

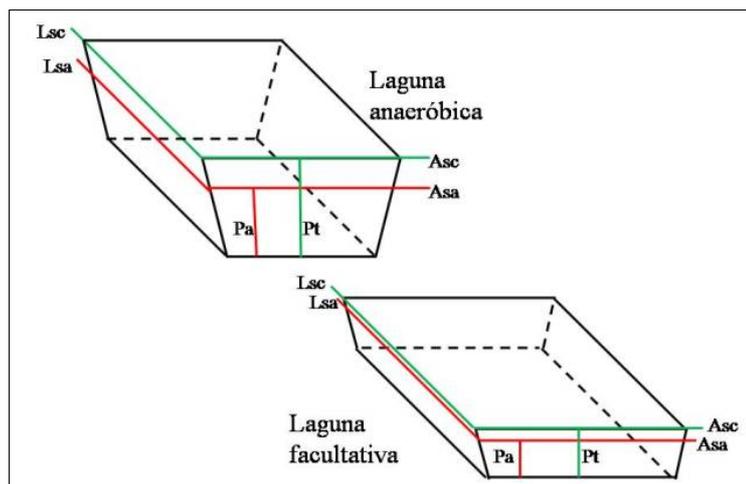


Ilustración 7. Vista lateral y frontal de laguna anaeróbica y facultativa.

Nota: líneas rojas indican el volumen de almacenaje; líneas verdes indican volumen de corte.
Fuente: elaboración propia.

Subproceso de aprovechamiento

Los sólidos tratados se distribuyen en el campo mediante un tractor y un carro esparcidor con una frecuencia de 10 días. A nivel de fracción líquida, el efluente tratado en las lagunas permite obtener agua para el lavado de pisos del corral de espera, la que se acumula en un depósito de 25 m³ de capacidad (3 días de almacenaje) a partir del cual es bombeado. Se debe colocar una tubería de PVC de 4" entre el depósito y el filtro de arena y piedra. Además se instala una bomba para su extracción y utilización, para su funcionamiento se debe realizar un tendido eléctrico desde a sala de ordeño (fuente de energía más cercana).

Esquema de A1

En la Ilustración 8. puede observarse la disposición espacial de las estructuras que forman parte de la alternativa y el recorrido del efluente por la línea de transformación, desde que ingresa como residuo hasta su salida como producto (agua tratada y abono orgánico).

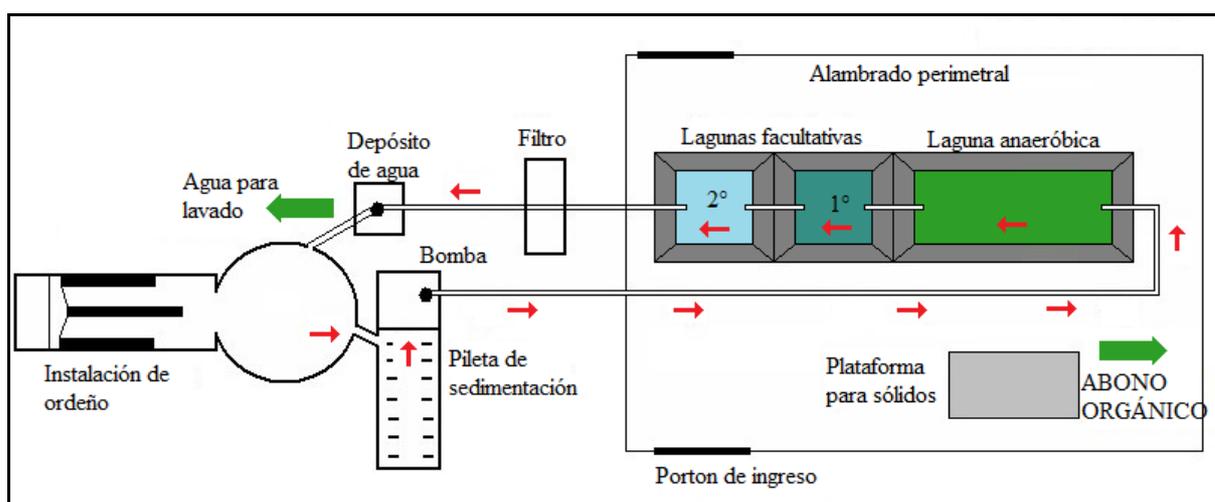


Ilustración 8. Esquema de planta de tratamiento aplicando A1.

Nota: flechas rojas: recorrido de efluente; flechas verdes: productos.
Fuente: tomado de Taverna *et. al.*, (2004).

A2: Laguna digestora: producción de abono orgánico

Subproceso tratamiento

Tratamiento de sólidos

El tratamiento para la fracción sólida se efectúa bajo la forma descrita en A1.

Tratamiento de líquidos

Para la fracción líquida se plantea el uso de un depósito permanente o laguna digestora de tipo anaeróbica, que debe estar impermeabilizado con PEAD de 1500 micras. El depósito posee una capacidad de almacenaje de 374 m³ y el tiempo de almacenaje es de 45 días. Una vez colmada su capacidad se debe realizar el vaciado en forma diaria retirando un volumen de efluente tratado igual al que ingresa, lo que permite reducir la carga orgánica de todos los volúmenes de efluente que se generan.

Los aspectos constructivos para cada estructura han sido detallados en A1. En la Tabla 8. se muestran las dimensiones de las estructuras que componen la planta de tratamiento de A2 y en la Ilustración 7. se puede observar una vista lateral y frontal de la laguna anaeróbica.

Tabla 8. Dimensiones de estructuras de la planta de tratamiento de A2.

| Estructuras | | Dimensión (m) |
|---------------------------------------|----------|---------------|
| Plataforma de sólidos | longitud | 5 |
| | ancho | 2 |
| Laguna anaeróbica | | |
| longitud superior de almacenaje (Lsa) | | 18 |
| ancho superior de almacenaje (Asa) | | 9 |
| talud | | 0,5:1 |
| profundidad de almacenaje (Pa) | | 3 |
| longitud superior de corte (Lsc) | | 19 |
| ancho superior de corte (Asc) | | 10 |
| profundidad total (Pt) | | 3,6 |

Fuente: elaboración propia

Subproceso aprovechamiento

El aprovechamiento de los sólidos tratados es igual a A1. En el caso de los líquidos, 45 días después del ingreso del efluente a la laguna se debe realizar el retiro de este volumen para luego distribuirlo en el campo como abono. Para la extracción se plantea el uso de tanque estercolero que se llena por vacío y descarga por gravedad cuya capacidad es de 5.000 litros, con lo cual deberá retirarse un tanque y medio por día para mantener el stock de efluente en la laguna en 374 m³.

Esquema de A2

En la Ilustración 9. puede observarse la disposición de las estructuras que forman parte de la alternativa y el recorrido del efluente por la línea de transformación, desde que ingresa como residuo hasta su salida como producto (abono orgánico).

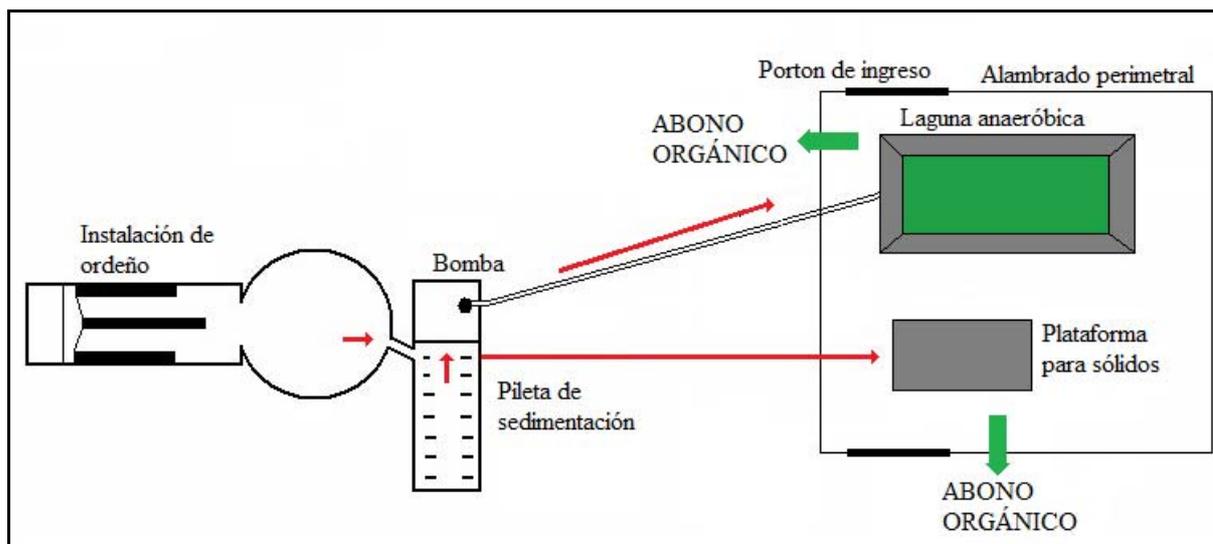


Ilustración 9. Esquema de planta de tratamiento aplicando A2
 Nota: flechas rojas: recorrido de efluente; flechas verdes: productos.
 Fuente: elaboración propia.

A3: Biodigestor: producción de biogas y abono orgánico.

Subproceso tratamiento

El efluente (fracción líquida y sólida en conjunto) originado se acumula en una cámara colectora, cuya función es la de concentrar el efluente para permitir un flujo continuo hacia la cámara de carga del biodigestor. La cámara colectora se ubica después del corral de espera y se une a este por un canal a cielo abierto. Esta cámara posee una bomba centrífuga con eje elevado, que trabaja con un caudal $20 \text{ m}^3/\text{h}$, teniendo la función de practicar el vaciado de la misma en forma diaria, llevando el efluente por una tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) de 2" de diámetro hacia la cámara de carga.

La cámara de carga tiene una capacidad de almacenaje de dos días y se conecta al biodigestor por medio de una tubería PVC de 4", con la cual se descarga por gravedad el efluente hacia el interior del biodigestor.

Una vez en el interior del biodigestor el efluente sufre una digestión anaeróbica, luego de este proceso se obtiene como resultado biogas y un residuo con propiedades fertilizantes (Hilbert, s.f.). El tipo de biodigestor adoptado es de tipo continuo (se carga diariamente) y de flujo horizontal, la dinámica del efluente en este tipo de digestores reside en que el volumen que ingresa desplaza una cantidad equivalente de efluente que se evacua por la salida, de este modo el volumen en el interior se mantiene constante (Hilbert, s.f.).

En su diseño el biodigestor está conformado por dos partes, una inferior y otra superior. Para la construcción de la parte inferior se realiza una excavación revestida con hormigón, así se evita la contaminación de la capa freática. En la parte superior, se coloca PEAD (1500 micras de espesor) esta membrana actúa como una barrera evitando el escape de metano. El volumen del biodigestor, según

estimaciones realizadas con parámetros de Hilbert, (s.f.) es de 332 m³, el tiempo de retención es de 40 días y la digestión será realizada con una temperatura mesofílica de 20 °C.

Luego de transcurrido el tiempo de retención, el volumen de efluente se reduce un 2% (Hilbert, s.f.) y es desplazado desde el biodigestor hacia un cámara de descarga que posee un tiempo de almacenaje de tres días. El vaciado de esta cámara se realiza por medio de un tanque estercolero accionado por un tractor.

Una de las desventajas de este tipo de biodigestores es la formación de una costra en la parte superior del efluente, para evitar esta situación que perjudica el funcionamiento del mismo se coloca un sistema de agitación – mezclado hidráulico. Este sistema se basa en hacer recircular el efluente dentro del biodigestor, tomándolo desde la parte inferior y descargándolo sobre la superficie del efluente (Hilbert, s.f.).

La construcción de las tres cámaras (colectora, de carga y de descarga) se realiza de hormigón, tanto pisos como paredes posee 0,10 m de espesor. Además es necesario realizar el movimiento de tierra correspondiente para la construcción de una canal a cielo a abierto de sección trapezoidal, que comunica el corral de espera con la con la cámara colectora; el cual es de 1 m de longitud, revestido con hormigón de 0,10 m de espesor y posee una pendiente de 1,5% (Taverna *et. al.*, 2004). En la cámara colectora se debe instalar una bomba centrífuga y se conecta con una tubería de PEAD de 2” de diámetro que llega hasta la cámara de carga. Para el funcionamiento de la bomba se realiza un tendido eléctrico desde la instalación de ordeño (fuente de energía más cercana).

La obra del biodigestor incluye la realización de una excavación de 422 m³ que se reviste con hormigón de 0,10 m de espesor tanto en piso como en paredes. La parte superior del biodigestor se cierra con 100 m² de membrana PEAD de 1500 micras de espesor, teniendo en cuenta esta superficie de membrana un 3% de solapado. Antes de cerrar el digestor se debe colocar el sistema de agitación – mezclado. Para la construcción de este sistema se coloca una bomba centrífuga de eje elevado fuera de digestor; a esta se le conectan dos cañerías de PEAD de 2”, una para succionar el efluente y otra para verterlo nuevamente al interior del digestor.

En la Tabla 9. se presentan las dimensiones de las estructuras que integran la planta de tratamiento, además en la Ilustración 10. se puede observar una vista lateral y frontal del biodigestor.

Tabla 9. Dimensiones de estructuras de la planta de tratamiento de A3.

| Estructuras | | Dimensión (m) |
|--------------------|---------------------------------------|---------------|
| Cámara colectora | longitud | 2,5 |
| | ancho | 2 |
| | profundidad | 2 |
| Cámara de carga | longitud | 3 |
| | ancho | 3 |
| | profundidad | 2 |
| Biodigestor* | longitud superior de almacenaje (Lsa) | 18,5 |
| | ancho superior de almacenaje (Asa) | 8 |
| | talud | 0,5:1 |
| | profundidad de almacenaje (Pa) | 3 |
| | longitud superior de corte (Lsc) | 19 |
| | ancho superior de corte (Asc) | 9 |
| | profundidad total (Pt) | 3,6 |
| Cámara de descarga | longitud | 4 |
| | ancho | 3 |
| | profundidad | 2 |

Fuente: elaboración propia. *Parámetros de Hilbert (s.f.).

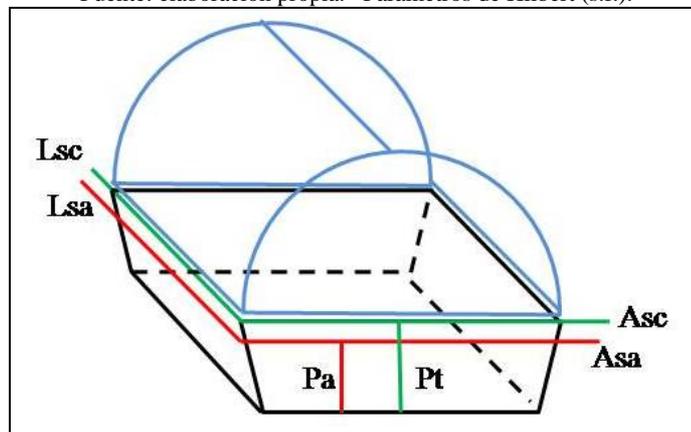


Ilustración 10. Vista lateral y frontal del biodigestor.

Nota: líneas rojas indican el volumen de almacenaje; líneas verdes indican volumen de corte y líneas azules representan la membrana del biodigestor. Fuente: elaboración propia.

Subproceso aprovechamiento

Para dar uso al biogas es necesaria la construcción de un red de cañerías de PVC, que comuniquen al biodigestor con los lugares de uso, siendo estos la caldera ubicada en la instalación de ordeño y la caldera que se ubica próxima al biodigestor. En el caso del residuo de la digestión que queda en la cámara de descarga, por sus propiedades fertilizantes, se aplica en el campo mediante un tanque estercolero el cual es accionado por un tractor y posibilita tanto la extracción desde el biodigestor como el desparramado.

Esquema de A3

En la Ilustración 11. puede observarse la disposición de las estructuras que forman parte de la alternativa y el recorrido del efluente por la línea de transformación, desde que ingresa como residuo hasta su salida como producto (abono orgánico y biogas).

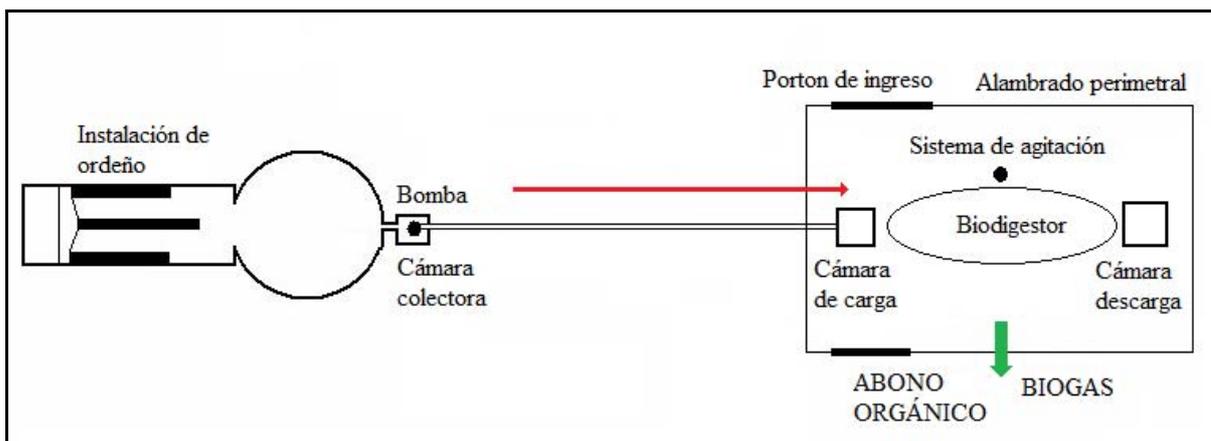


Ilustración 11. Esquema de planta de tratamiento aplicando A3.

Nota: flechas rojas: recorrido de efluente; flechas verdes: productos.

Fuente: elaboración propia.

Otras obras (A1, A2 y A3)

La planta de tratamiento se debe cercar con alambrado olímpico y tendrá dos vías de acceso (una para épocas de lluvias). Los caminos en su interior se construyen en forma abovedada y se cubren con piedra negra u otro material que permita mantenerlos en buenas condiciones de tránsito.

3.4. Cuantificación física de las inversiones.

En la Tabla 10. se puede observar la cuantificación física de las inversiones para cada alternativa.

Tabla 10. Cuantificación física de las inversiones.

| Inversiones cuantificación física | | Unidad | A1 | A2 | A3 |
|-----------------------------------|----------------------------|----------------|-------|-----|-----|
| Fundiaria | tierra | ha | 1,2 | 1 | 1 |
| Mejoras | sistematización de tierra | m ³ | 1.331 | 477 | 422 |
| | arena | m ³ | 8,2 | 3,1 | 34 |
| | grava | m ³ | 8,2 | 3,1 | 34 |
| | cemento | n° de bolsas | 58 | 22 | 235 |
| | malla cima | m ² | 82 | 31 | 336 |
| | alambrados | m | 400 | 320 | 320 |
| | cañerías PVC | m | 90 | 0 | 30 |
| | cañerías PEAD | m | 60 | 60 | 80 |
| | PEAD | m ² | 480 | 110 | 100 |
| Capital de explotación | Bomba | unidad | 2 | 1 | 2 |
| | Tractor con pala frontal | unidad | 1 | 1 | 1 |
| | carro esparcidor sólidos | unidad | 1 | 1 | 0 |
| | tanque esparcidor líquidos | unidad | 0 | 1 | 1 |
| | Instalaciones de biogas | unidad | - | - | 1 |

Fuente: elaboración propia.

3.5. Cuantificación física de insumos y productos.

Los insumos requeridos para cada alternativa, en general son similares, y se detallan a continuación: gas oil, electricidad, un operario e insumos para mantenimiento (del sistema y del predio). La cantidad de gas oil, varía según la alternativa, así el consumo anual sería de 864 litros, 1056 litros y 1104 litros para A1, A2 y A3 respectivamente.

En la Tabla 11. se encuentran las cantidades anuales de productos obtenidos por medio del funcionamiento de cada alternativa.

Tabla 11. Cuantificación de los productos para A1, A2, A3

| Alternativa | Producto | Unidad | Cantidad |
|--------------------|------------------|---------------------|-----------------|
| A1 | Abono orgánico | kg/año | 71.571 |
| | Agua para lavado | m ³ /año | 3.030 |
| A2 | Abono orgánico | kg/año | 71.571 |
| A3 | Biogas | m ³ /año | 17.885 |
| | Abono orgánico | kg/año | 71.571 |

Fuente: elaboración propia.

Requerimientos de mano de obra para cada subproceso.

Para cada alternativa se debería contar con un operario, no siendo necesaria su dedicación de tiempo completo al sistema, este será necesario cuando deba realizarse el vaciado de laguna o del depósito de abono. Otra actividad que podría realizar semanalmente sería la de monitorear el funcionamiento del sistema y el mantenimiento del predio (p.e. cortar césped y revisar alambrados perimetrales).

También se debería contar con un técnico, para el asesoramiento sobre como realizar el manejo de cada alternativa.

3.6. Criterios cualitativos de selección.

Madurez

A nivel internacional las tecnologías de manejo de efluentes están divulgadas y son maduras (p.e. Yiridoe *et al.*, 2009 en Canadá, Giesy *et. al.*, 2009 en EE.UU. y Harris, 2009 en Australia), pero para Argentina y en especial para la zona de San Basilio son técnicas relativamente nuevas ya que si bien en la actualidad existen lagunas digestoras estas carecen de un manejo adecuado. De la confrontación entre alternativas, A2 surge como la más similar a la situación actual de manejo de efluentes, siendo por esto una tecnología más familiar para los productores del área de estudio y con altas posibilidades de rápida adopción. Además la rutina de tareas que requiere A2 no es de gran complejidad. En el caso de A1 y A3 incorporan nuevas instalaciones y tareas que hacen más complejo a su funcionamiento adecuado.

Flexibilidad

Como alternativas flexibles se identifican A2 y A3 ya que en caso de fallar el proyecto ambas pueden convertirse en cualquiera de las tres alternativas por medio de la transformación de las estructuras necesarias o anexando nuevas, p.e. en A3 retirando la membrana que actúa como barrera podría tenerse una laguna anaeróbica o en A2 cubriendo la laguna con una membrana se tendría A3. Además requieren de la compra de un tractor con pala, el que puede adaptarse a otros usos dentro del tambo, como la limpieza de corrales o el terraplenado de aguadas.

3.7. Selección de alternativas tecnológicas.

Cuantificación económica de inversión total de cada alternativa.

Es importante notar que la inmovilización de capital es diferente entre las alternativas tecnológicas y el dimensionamiento económico del capital de explotación tiene posibilidades amplias de optimización.

El dimensionamiento de las inversiones se muestra en Tabla 12. y se puede observar que A3 es la que demanda una mayor inversión inicial (\$ 291.172), esto se explica por una mayor inmovilización de capital a nivel de mejoras (construcción de biodigestor e instalaciones para utilización de biogas), capital de explotación y nominales (mayor complejidad en la confección del proyecto). Otro aspecto que surge del estudio es que para las tres alternativas las inversiones fijas son las que requieren mayores desembolsos de dinero. A su vez dentro estas es el capital de explotación quien requiere mayores inversiones iniciales.

Tabla 12. Cuantificación económica de las inversiones para cada alternativa.

| Inversiones | | A1 | A2 | A3 |
|--------------------|------------------------|------------|------------|------------|
| Fijas | Tierra | \$ 24.000 | \$ 20.000 | \$ 20.000 |
| | Mejoras | \$ 58.122 | \$ 32.172 | \$ 55.014 |
| | Capital de explotación | \$ 104.320 | \$ 159.910 | \$ 176.820 |
| | Total | \$ 187.018 | \$ 212.301 | \$ 254.185 |
| Capital circulante | | \$ 26.487 | \$ 28.162 | \$ 6.987 |
| Nominales | | \$ 20.000 | \$ 20.000 | \$ 30.000 |
| TOTAL | | \$ 233.505 | \$ 260.462 | \$ 291.172 |

Nota: En A3, se incluye un valor estimado de instalaciones para aprovechar el biogas de \$60.000.

Fuente: elaboración propia.

3.8. Justificación de la alternativa seleccionada.

A nivel de análisis técnico no es posible llevar a cabo una selección entre estas alternativas tecnológicas debido a que presentan diferente tipo de producto final lo cual no permite utilizar el costo operativo anual para realizar la elección. Esta situación obliga a que para poder definir que alternativa es la adecuada se debe realizar una evaluación económica de cada una de las alternativas planteadas, utilizando para la selección indicadores como el VAN, TIR y Periodo de recupero (ver detalles en capítulo de evaluación económica).

Capítulo 4 EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL

Si bien este proyecto es un plan de mitigación en sí mismo su implementación puede generar nuevos impactos negativos sobre el ambiente o magnificar alguno de los existentes en la situación de referencia, por lo que en el siguiente apartado se muestra el estudio de impacto ambiental. Este estudio se vincula con definir su alcance y cobertura, identificar y caracterizar los efectos de las acciones del proyecto sobre el ambiente, valorar los impactos identificados y establecer un Plan de manejo ambiental.

El estudio de impacto ambiental solo ha sido desarrollado para A3, pero también debería llevarse a cabo para las dos alternativas restantes (A1 y A2) ya que su diseño ingenieril diferente determina distintas capacidad y eficiencia para reducir los daños ambientales considerados.

4.1. Etapa 1: alcance (scoping) y cobertura del Estudio de impacto Ambiental.

La descripción del proyecto ha sido realizada en el capítulo 3 “Análisis técnico” y la caracterización del área de influencia se muestra en el capítulo 1 “Estudio de los beneficiarios”. En la Tabla 13. se presentan los efectos ambientales del manejo actual (situación de referencia) de los efluentes de tambo.

Tabla 13. Efectos ambientales del actual sistema de manejo de efluentes.

| Subsistema ambiental | Efecto sobre | Efecto ambiental |
|----------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Medio físico | Agua | Contaminación por nutrientes (NO _x) y patógenos. |
| | Aire | Gases de efecto invernadero (CH ₄ y CO ₂). Olores desagradables. |
| | Suelo | Contaminación por inutilización parcial. |
| Medio biótico | Biota | Proliferación de insectos (p.e. moscas y mosquitos). |
| Percepción | Paisaje | Empobrecimiento por presencia de lagunas de aspecto desagradable. |
| Socio económico | Generación de empleo | No |
| | Condiciones del lugar de trabajo | Inadecuadas, área de tratamiento cercana a instalación de tambo y casa de tambero. |

Fuente: elaboración propia.

Los impactos ambientales del proyecto son tenidos en cuenta desde un principio en el diseño de cada una de las alternativas, a causa de que las mismas están orientadas a cubrir los efectos perjudiciales para el ambiente causados por el manejo actual de los residuos, esto se observa p.e. en que en cada alternativa todas las construcciones poseen sus fondos impermeabilizados para evitar la contaminación de la napa freática. Sin embargo pueden ocasionarse impactos ambientales negativos cuando el aprovechamiento de los residuos, consiste en su distribución a campo.

Es importante destacar que la provincia de Córdoba (Argentina) establece un marco regulatorio para este tipo de proyectos, estando este conformado por el Decreto 2131/00 y la Ley 9306/06.

En el Decreto 2131/00, Reglamentario del Capítulo IX “Del Impacto Ambiental” de la Ley 7343, se definen los principios rectores para la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente. En este decreto se han definido una serie de exigencias tales como la necesidad de cumplimiento de normas y estándares ambientales, estableciendo de acuerdo a las características del

proyecto la necesidad o no de realizar una evaluación de impacto ambiental y en caso de que sea necesario, el nivel de detalle de la misma.

Además se debe obtener una Licencia Ambiental, a causa de que está prohibida en el territorio cordobés la autorización de obras y/o acciones que no cumplan este requisito. Esta licencia es un documento de autorización emitido por la Agencia Córdoba Ambiente como resultado de la Evaluación del impacto ambiental o de la Auditoría ambiental.

La Ley 9306/06 “Regulación de los sistemas intensivos y concentrados de producción animal (SICPA)” clasifica a los SICPA en Comerciales (Categoría A, 16 o más vacas totales) y Familiares o Autoconsumo (Categoría B, 15 o menos vacas totales), en función al número de animales en confinamiento y la superficie mínima afectada.

Esta normativa otorga el poder de policía a la Agencia Córdoba Ambiente, actualmente Secretaría de Ambiente, por sí misma o en conjunto con o entes municipales, comunales y/o comunidades regionales. Además establece zonas críticas, siendo estas las localizadas a una distancia inferior a los tres kilómetros de poblaciones, vertientes de agua, ríos, arroyos, lagunas y lagos, como así también en aquellos lugares donde la profundidad del acuífero libre sea menor a los diez metros de profundidad en el período de alta.

La Ley demanda: estándares de calidad (calidad de agua y suelo), monitoreos (ambientales, alimenticios, sanitarios, de bienestar animal y cualquier otro que se estime conveniente o necesario), monitoreo de aguas (aguas subterráneas, según lo determinado en el Decreto Provincial de la DIPAS No 415/99), tratamiento de las excretas (deben ser permanente, a través de biodigestores, plantas de tratamiento de líquidos residuales u otros alternativos aprobados), evaluación del impacto ambiental (SICPA ya instalados, deben presentar dentro de seis meses de promulgada la Ley).

Entre las exigencias de la evaluación de impacto ambiental se destacan: instalaciones necesarias para tratamiento de residuos, contaminación del suelo y del agua, control de las condiciones de higiene y seguridad para el personal involucrado en las operaciones, control de vectores de enfermedades que puedan afectar la salud humana, verificación de cortinas forestales perimetrales adecuadas a la dirección de los vientos, existencia de corrales para animales enfermos y/o en recuperación debiendo estar aislados del sector de animales sanos, canales de conducción de efluentes y lagunas para el tratamiento de los mismos, verificación de la localización en zonas críticas y/o sensibles, obligación de registración.

Los SICPA se deben inscribir en el Registro Provincial de Sistemas Intensivos y Concentrados de Producción animal y deberán contar con un Responsable técnico habilitado, este puede ser un Ingeniero Agrónomo o un Médico Veterinario, que también tiene que inscribirse en el Registro de Responsables Técnicos.

Para la instalación de nuevos SICPA es obligatoria la realización y presentación de: Constancia de factibilidad de localización, entregada por autoridad municipal, comunal o de comunidad regional; Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental; Constancia de intervención de los organismos

gubernamentales directamente involucrados: Agencia Córdoba Ambiente, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Alimentos y Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA).

De acuerdo a la legislación provincial actual (Decreto 2131) se define a este tipo de proyecto en el anexo II “equipamientos ambientales” con lo cual sería categoría ambiental B y el documento a elaborar un Aviso de proyecto.

4.2. Etapa 2: Identificación y caracterización de los efectos del proyecto sobre el ambiente.

El proyecto posee tres fases (construcción, funcionamiento y abandono) dentro de las cuales se llevan a cabo distintas acciones. Las acciones identificadas para la etapa de funcionamiento son diferentes a las que se llevan a cabo en la situación de referencia, en donde el efluente simplemente se deposita en una laguna anaeróbica. En la Tabla 14. se presenta la identificación y descripción de las acciones correspondientes a A3.

Las acciones que lleva adelante el proyecto en sus distintas etapas pueden perturbar ciertos factores ambientales pertenecientes a distintos subsistemas del ambiente, la Tabla 15. muestra la identificación y descripción de los factores ambientales afectados por A3.

La interacción entre las acciones del proyecto y las modificaciones que estas causan a los factores ambientales afectados da como resultado el surgimiento de efectos del proyecto sobre el ambiente. La matriz de interacción (acción x factor) y la identificación de los efectos generados por A3 pueden visualizarse en la Tabla 16.

No todos los efectos originados por el proyecto poseen la misma significancia (ver Tabla 16.) es por esto que se lleva a cabo el cribado de los mismos, de esto surge que los más importantes son: el tratamiento del efluente en biodigestor (2.2.) y la aplicación del abono orgánico a campo (2.4.). La descripción de estos efectos se presenta en la Tabla 17. y su caracterización puede visualizarse en la Tabla 18.

Tabla 14. Acciones que genera A3.

| Fase del proyecto | Acción | |
|-------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Código | Descripción |
| Construcción | 1.1. | Movimiento de tierra y construcción de infraestructura (mejoramiento de caminos, cámara colectora, cámaras de carga y descarga, un biodigestor, canales, red de cañerías y colocación de alambrado perimetral.) |
| Funcionamiento | 2.1. | Acumulación de efluente en cámara colectora. |
| | 2.2. | Tratamiento de efluente en biodigestor. |
| | 2.3. | Ingreso y salida de tractor con tanque estercolero a la planta, para limpieza de cámara de descarga. |
| | 2.4. | Aplicación a campo del abono orgánico. |
| | 2.5. | Utilización de biogas. |
| Abandono | 3.1. | Mantenimiento o mejora del proyecto después de finalizada la vida útil. |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Factores ambientales afectados por las acciones de A3.

| Subsistema ambiental | Medio | Factor | | |
|----------------------|-----------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| | | Código | Descripción | |
| Físico Natural | Condiciones atmosféricas | 1.1. | Emisión de GEI. | |
| | | 1.2. | Olores desagradables. | |
| | | 1.3. | Captura de Carbono. | |
| | Biota | 2.1. | Poblaciones de insectos | |
| | | 2.2. | Poblaciones de patógenos | |
| | Agua | 3.1. | Contaminación de capa freática por nutrientes (NOx). | |
| | | 3.2. | Contaminación de capa freática por patógenos. | |
| | | 3.3. | Eficiencia en el uso de agua para limpieza (reciclaje). | |
| | Suelos | 4.1. | Microbiología | |
| | | 4.2. | Nutrientes | |
| | | 4.3. | Materia orgánica | |
| | | 4.4. | Compactación (circulación tractor + implemento). | |
| | | 4.5. | Dispersión de patógenos (aplicación de abono orgánico sólido y líquido). | |
| | Socio – económico | Población | 5.1. | Generación de empleo. |
| | | | 5.2. | Calidad de vida en el medio rural. |
| 5.3. | | | Higiene y seguridad. | |
| Infraestructura | Infraestructura y servicios | 6.1. | Utilización de maquinaria: riesgo de accidentes | |
| | | 6.2. | Ahorro de energía eléctrica. | |
| | | 6.3. | Producción de abono orgánico | |
| | | 6.4. | Generación de energía. | |
| Percepción | | 7.1. | Paisaje | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Efecto sobre el ambiente para A3.

| Acciones | Condiciones atmosféricas | | | Biota | | Agua | | | Suelos | | | | | Socio - económico | | | Infraestructura | | | | Percepción |
|------------|--------------------------|-----|----------|-------|-----|------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------------|----------|----------|-----------------|----------|-----|----------|------------|
| | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 2.1 | 2.2 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 4.1 | 4.2 | 4.3 | 4.4 | 4.5 | 5.1 | 5.2 | 5.3 | 6.1 | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 7.1 |
| 1.1 | - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | + | + | 0 | - | 0 | 0 | 0 | + |
| 2.1 | 0 | + | 0 | - | - | + | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | + | + | + | - | - | 0 | 0 | 0 |
| 2.2 | + | + | + | + | + | + | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | + | + | 0 | - | - | + | + | + |
| 2.3 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | + | + | + | - | 0 | + | 0 | 0 |
| 2.4 | - | + | 0 | + | + | + | + | 0 | + | + | + | - | - | + | 0 | + | - | 0 | + | 0 | 0 |
| 2.5 | + | + | + | + | + | + | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | + | 0 | + | 0 |
| 3.1 | + | + | + | + | + | + | + | 0 | - | + | + | - | + | + | + | + | - | + | + | 0 | + |

Nota: (+): efecto positivo, (-): efecto negativo, (0): efecto nulo, (**negrita**): efectos más importantes.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17. Descripción de los efectos del proyecto para A3.

| Acción | Factor | Descripción del efecto |
|--------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.2 | 1.1 | Disminución de la emisión de GEI. |
| | 1.2 | Disminución de generación de olores. |
| | 1.3 | Aumento de fijación de carbono. |
| | 2.1 | Disminución de población de insectos |
| | 2.2 | Disminución de población de patógenos. |
| | 3.1 | No hay contaminación de capa freática por NOx. |
| | 3.2 | No hay contaminación de capa freática por patógenos. |
| | 5.1 | Aumento de empleo por necesidad de control sobre el funcionamiento del subproceso tratamiento. |
| | 5.2 | Mejora en la calidad de vida en el medio rural. |
| | 6.1 | Mayor riesgo de accidentes laborales por operación de biodigestor. |
| | 6.2 | Mayor consumo de energía eléctrica por bombas. |
| | 6.3 | Producción de abono orgánico, posibilidad de utilización. |
| | 6.4 | Producción de energía (biogas), posibilidad de utilización. |
| | 7.1 | Mejora la percepción del paisaje, por aspecto ordenado. |
| 2.4 | 1.1 | Emisión de GEI durante el funcionamiento de la maquinaria. |
| | 1.2 | Disminución de generación de olores. |
| | 2.1 | Disminución de población de insectos |
| | 2.2 | Disminución de población de patógenos. |
| | 3.1 | No hay contaminación de capa freática por NOx. |
| | 3.2 | No hay contaminación de capa freática por patógenos. |
| | 4.1 | Aumento de actividad microbiológica. |
| | 4.2 | Incorporación de nutrientes |
| | 4.3 | Incorporación de materia orgánica. |
| | 4.4 | Elevado riesgo de compactación por tránsito de maquinaria. |
| | 4.5 | Mayor riesgo de diseminación de patógenos. |
| | 5.1 | Aumento de empleo por necesidad de contar con operario para tractor. |
| | 5.3 | Mejores condiciones de higiene y seguridad. |
| | 6.1 | Riesgo de accidentes laborales por uso de maquinaria. |
| 6.3 | Producción de abono orgánico, posibilidad de utilización. | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. Caracterización de efectos para A3.

| Acción | Factor | Caracterización del efecto | | | | | | | | | | |
|--------|--------|----------------------------|---------|------------|-------------|--------------|-------------|----------|--------------|-------------|----------------|------------|
| | | Signo | Momento | Inmediatez | Posibilidad | Persistencia | Acumulativo | Sinergia | Periodicidad | Continuidad | Reversibilidad | Incidencia |
| 2.2 | 1.1 | + | L | Dir | Rec | temp | acum | Nsin | temp | cont | rev | 0,4 |
| | 1.2 | + | C | dir | Rec | temp | acum | Sin | per | disc | Irrev | 0,6 |
| | 1.3 | + | L | dir | Nrec | temp | acum | Nsin | temp | cont | rev | 0,6 |
| | 2.1 | + | C | Dir | Rec | Temp | Simp | Sin | Per | Cont | Irrev | 0,6 |
| | 2.2 | + | M | Dir | Rec | Temp | Simp | Sin | Per | Cont | Irrev | 0,7 |
| | 3.1 | + | M | Dir | Rec | Temp | Acum | Nsin | Per | Cont | Irrev | 0,7 |
| | 3.2 | + | M | Dir | Rec | Temp | Acum | Nsin | Per | Cont | Irrev | 0,7 |
| | 6.2 | - | C | dir | Nrec | temp | Simp | Nsin | per | cont | rev | 0,6 |
| 2.4 | 1.1 | - | L | Dir | Nrec | Per | Acum | Nsin | Per | Cont | Irrev | 1 |
| | 1.2 | + | C | Dir | Rec | Temp | acum | Sin | Per | Disc | Irrev | 0,8 |
| | 2.1 | + | C | Dir | Rec | Temp | Simp | Sin | Per | Cont | Irrev | 0,8 |
| | 2.2 | + | M | Dir | Rec | Temp | Simp | Sin | Per | Cont | Irrev | 0,7 |
| | 3.1 | + | M | Dir | Rec | Temp | Acum | Nsin | Per | Cont | Irrev | 0,7 |
| | 3.2 | + | M | Dir | Rec | Temp | Acum | Nsin | Per | Cont | Irrev | 0,7 |
| | 4.1 | + | C | Dir | Rec | Temp | Acum | Nsin | Per | Cont | Irrev | 0,8 |
| | 4.2 | + | C | Dir | Rec | Temp | Acum | Nsin | Per | Cont | Irrev | 0,8 |
| | 4.3 | + | C | Dir | Rec | Temp | Acum | Nsin | Per | Cont | Irrev | 0,8 |
| | 4.4 | - | C | Dir | Rec | Temp | Acum | Nsin | Per | Cont | Irrev | 0,8 |
| | 4.5 | - | C | Dir | Rec | Temp | Acum | Nsin | Per | Cont | Irrev | 0,8 |

Nota: C: corto; M: medio; L: largo. Ind: indirecto; Dir: directo. Rec: recuperable; Nrec: no recuperable. Temp: temporal; Per: permanente. Simp: simple; Acum: acumulativo. Sin: sinérgico; Nsin: no sinérgico. Per: periódico; Irre: irregular. Disc: discontinuo; Cont: continuo. Rev: reversible; Irrev: irreversible.

Fuente: elaboración propia.

4.3. Etapa 3: Valoración del impacto.

La etapa 2 muestra que la aplicación de A3 a la situación actual genera mayormente impactos positivos sobre el ambiente, dentro de los cuales se destacan: disminución de EGEI y de producción de olores, aumento de fijación de carbono, menor población de patógenos e insectos, no hay contaminación de capa freática, entre otros.

Entre los impactos negativos se destaca que estos ocurren por la aplicación de abono orgánico a campo, por un lado por la compactación que se puede generar en el suelo debido al tránsito de la maquinaria y por otro por el riesgo de dispersar patógenos que han superado el tratamiento efectuado al efluente del tambo.

La valoración solo se realiza para los impactos negativos (ver Tabla 19.) debido a la necesidad de implementar un Plan de manejo ambiental que logre mitigarlos. Para valorar los impactos negativos se toma como indicadores a resistencia mecánica (RM) para compactación y coliformes totales (CT) para dispersión de patógenos.

La RM es el conjunto de fuerzas que desarrolla la matriz del suelo y que se oponen a su deformación ante el esfuerzo de órganos vegetales en crecimiento, este parámetro permite definir el grado de compactación que posee el suelo ya que las raíces pueden ejercer presiones máximas en el rango de 0,8 – 1,2 Mpa (Bernardo *et. al.*, 2007), es decir que RM superiores modifican las condiciones de suelo requeridas por los cultivos. Por lo antes dicho se utiliza como valor crítico a 1,2 Mpa. Cisneros *et. al.*, (2006) menciona que distintas labores mecánicas puede originar RM entre 0,4 Mpa y 4,7 Mpa a 20 cm de profundidad, estos valores se adoptan como valores mínimos y máximos del indicador respectivamente. En el mismo trabajo se informa que la sucesión de labores: labranza convencional con múltiple + rastra doble acción y rolo + siembra causa RM cercanas a 1,8 Mpa a 40 cm de profundidad, debido a la carencia del valor de RM para la situación sin proyecto y a la similitud de estas labores con las realizadas históricamente en el lugar, se toma como valor del indicador para la situación sin proyecto a 1,8 Mpa. Además Botta *et. al.*, (s.f.) indican que después de pasar 6 veces por la misma huella con un tractor de 3.020 kg de peso total, sobre un Argiudol típico, se origina una RM de 2,3 Mpa a 40 cm de profundidad, este valor se toma para la situación con proyecto.

El indicador CT surge de determinar la presencia de bacterias coliformes (p.e. *Escherichia coli*) en agua (Masters y Ela, 2008). El Decreto provincial 415/99 establece que el contenido de CT permitido para la aplicación de aguas residuales a cursos de agua superficiales es de 5.000 NMP/100 ml, este valor se adopta como valor crítico. Charlón *et. al.*, (s.f.) indican que los efluentes de tambo luego de ser tratados poseen un contenido de CT de 18.620 NMP/100 ml, ya que se desconoce el valor de la situación con proyecto se incluye este valor. Los valores mínimos y máximos del indicador se fijan en cero y 50.000 NMP/100 ml. En el Gráfico 6 se observa la proyección de la calidad ambiental en función de la compactación y la dispersión de patógenos.

Tabla 19. Valoración de impactos ambientales negativos para A3.

| Valoración del impacto | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------|------|------------|------------|-------------------------|-------------|
| Acción | Factor | Indicador | ABMIN | ABMAX | Valor Crítico | SIN | CON | MAGS | MAGC | Diferencia | Incidencia | Extensión | Valor final |
| 2.4 | 4.4 | Resistencia mecánica | 0,4 Mpa ¹ | 4,7 Mpa ¹ | 1,2 Mpa ² | 1,8 Mpa ¹ | 2,3 Mpa ³ | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,8 | 0,0025 has ⁷ | 0.0005 |
| 2.4 | 4.5 | Coliformes totales | 0 NMP/100 ml ⁴ | 50.000 NMP/100 ml ⁴ | 5.000 NMP/100 ml ⁵ | 100 NMP/100 ml ⁴ | 18.620 NMP/100 ml ⁶ | 0,9 | 0,3 | 0,6 | 0,8 | 100 has | 60 |

Nota: **ABMIN**: Valor mínimo del indicador, **ABMAX**: Valor máximo del indicador, **SIN**: Valor del indicador sin proyecto, **CON**: Valor del indicador con proyecto, **MAGS**: Calidad Ambiental del factor sin proyecto, **MAGC**: Calidad Ambiental del factor con proyecto.

¹ Parámetro tomado de Cisneros *et. al.*, (2006)

² Parámetros de resistencia mecánica tomados de Bernardo *et. al.*, (2007).

³ Parámetro tomado de Botta *et. al.*, (s.f.)

⁴ Valor arbitrario.

⁵ Parámetro tomado de decreto provincial 415/99 para aplicación de aguas residuales a cursos de agua superficial.

⁶ Parámetro tomado de Charlón *et al.*, (s.f.).

⁷ superficie calculada en función de 2,5 m de ancho y 10 m de longitud, equivalente a 1 pasada del tractor.

Fuente: elaboración propia.

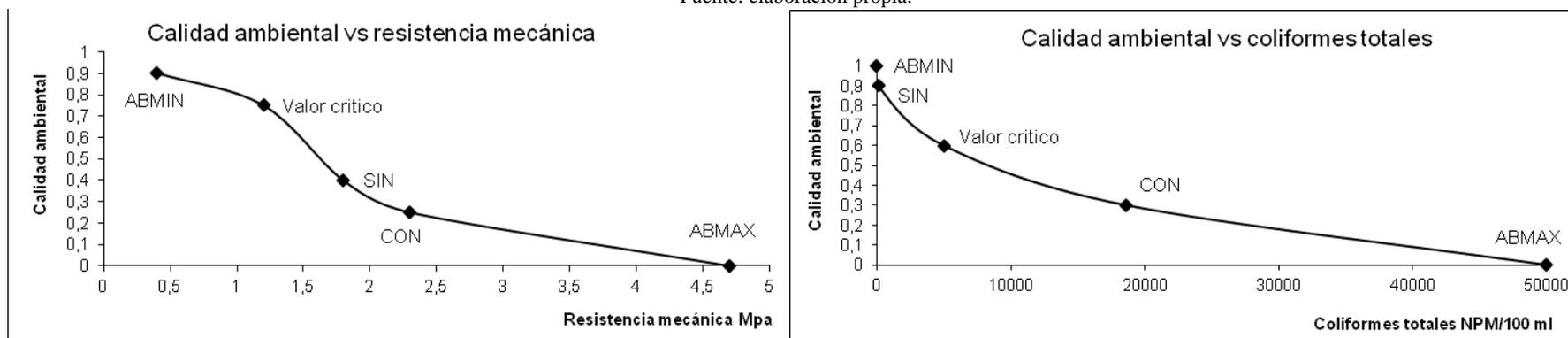


Gráfico 6. Proyección de la calidad ambiental en función de los impactos.

Fuente: elaboración propia.

4.4. Etapa 4: Plan de manejo ambiental.

Medidas de mitigación de los impactos

El análisis realizado en etapas anteriores da a conocer que la implementación del sistema de manejo de efluentes origina dos impactos medioambientales negativos de mayor importancia, siendo estos la compactación del suelo, RM, y el riesgo de dispersión de patógenos, CT, ambos son consecuencias de la aplicación del abono orgánico en el campo. En primer lugar, se sugiere monitorear el sistema para evaluar si estos efectos se presentan y actuar en las siguientes posibles medidas de mitigación.

Para mitigar RM se plantea las siguientes alternativas: a) recorrido en lotes diferentes, b) recorrido en franjas empastadas y c) recorrido solo en cabeceras. Estas alternativas deberían ser evaluadas para definir la más adecuada.

En el caso de CT se establece como medida de mitigación la “cloración”, esta tiene como finalidad potenciar la capacidad de desinfección del sistema de tratamiento presente en el proyecto. De acuerdo a lo establecido por la OMS (2006) esta práctica consiste en aplicar gas cloro licuado, solución de hipoclorito sódico o gránulos de hipoclorito cálcico. OMS (2006) también establece que uno de los métodos de cloración posibles de utilizar es la cloración a la dosis crítica, esta metodología se fundamenta en aplicar una dosis de cloro suficiente para oxidar rápidamente todo el nitrógeno amónico presente en el agua y dejar una concentración adecuada de cloro libre residual para proteger el agua de la recontaminación. Según lo establecido por EPA (1999) la dosis generalmente tiene un rango de 5 a 20 mg/l y varía con según la demanda de cloro, las características del agua residual y los requisitos de descarga del efluente.

Plan de vigilancia

El seguimiento y control de los posibles problemas ambientales detectados y las medidas de mitigación implementadas será realizado a través la determinación de la RM y conteo de CT.

Para conocer RM se realizarán mediciones dos veces por año utilizando un penetrómetro de golpes. En el caso de CT, semanalmente se tomarán muestras del efluente contenido en el biodigestor. Las muestras serán analizadas en un laboratorio de confianza y en base a los resultados obtenidos se ajustará la cloración.

Capítulo 5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se valora económicamente las distintas alternativas de tratamiento de efluente, considerando como situación de referencia o sin proyecto la proyección del manejo actual del efluente. Además se sensibilizan las variables que presentan alta variabilidad e influencia dentro del proyecto y que pueden hacer que cambie la viabilidad económica del mismo.

Es importante notar que en la evaluación económica se presentan dos situaciones contrastantes: a) la que percibe la sociedad cuando se imputa el daño económico que causa la producción lechera sin tratamiento del efluente, debido a la externalidad negativa, por ejemplo, la EGEl, y b) la que percibe el productor en el mercado sobre aquellos productos que tienen precios. En la primera situación, la implementación de un sistema de tratamiento reduce la externalidad negativa y consecuentemente el valor económico de los daños ambientales, este ahorro es considerado en la evaluación económica presentada a continuación (apartado 5.1 y 5.2). Sin embargo, desde el punto de vista privado al no pagar el daño ambiental el productor no percibirá ahorro alguno por el tratamiento de efluente y solamente percibe aquellos productos por los cuales tiene un equivalente comercial (ver detalles en el apartado 5.3).

5.1. Cuantificación de la situación sin y con proyecto.

Para valorar la situación sin proyecto se considera únicamente al daño ambiental ocasionado por la EGEl, además el valor de daño no reducido se imputa como egreso en la situación con proyecto (A1, A2 o A3). En el Gráfico 7., se observa los distintos escenarios en que se pueden encontrar el productor representativo estudiado en el futuro, estos escenarios corresponden a la proyección sin y con tratamiento de efluentes, dentro de esta última, las tres alternativas. En la EGEl se valora energéticamente el metano, considerando las proyecciones de precio de gas oil. En los valores proyectados de cada alternativa se tiene en cuenta la variación del daño ambiental (EGEl) durante la vida del proyecto. Si se compara cada alternativa con la situación sin proyecto y entre alternativas, se observa que a priori la más eficiente es A3, ya que el daño se minimiza en mayor proporción con respecto a la situación sin proyecto que las alternativas. Esto sucede debido a que en su diseño A3 cuenta con un biodigestor que aprovecha el metano.

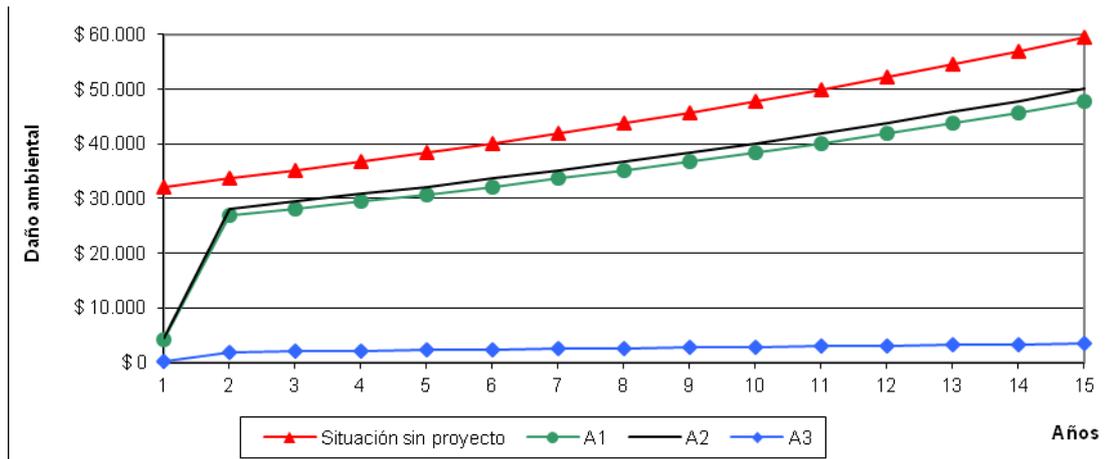


Gráfico 7. Proyección de la situación sin proyecto aplicando A1, A2, A3.

La Tabla 20. muestra el análisis beneficio – costo (ABC) realizado, en el cual para la situación con proyecto, la diferencia de beneficio neto obtenida en cada alternativa se explica por distinto ingreso y capacidad para la reducción de la EGEl. Así se observa que en A1 y A2 el ingreso obtenido es aproximadamente un 50% inferior para todos los años de análisis comparado con A3, esta diferencia surge por los productos que ofrece cada una de ellas (A1: agua para lavado y abono orgánico, A2: abono orgánico y A3: biogas y abono orgánico). En cuanto a la capacidad de reducción del daño ambiental A1 y A2 son menos eficientes que A3, debido a que por su diseño ingenieril no pueden captar el metano.

Para las diferentes alternativas (ver Tabla 20), el ahorro por evitar daños económicos es significativo y es importante notar que están capturados los valores de flujo y de stock al final del periodo de análisis, R_T . En la situación sin proyecto, el daño económico es idéntico en las tres alternativas y al final del periodo de análisis varía marcadamente porque se imputa la proyección futura posterior al periodo de análisis, capturado por R_T . El daño ha sido estimado en \$596 mil y pasa a un estimado de \$478 mil, \$500 mil y \$35 mil para las A1, A2 y A3 respectivamente. Simplemente, la mayor diferencia se da en A3 debido a la captura de metano y por lo tanto los daños posteriores a la finalización del proyecto son significativamente menores.

Tabla 20. Análisis Beneficio – Costo para A1, A2, A3.

| Concepto | A1 | | | A2 | | | A3 | | | | | |
|----------|-------------|------------|---|-------------|-------------|------------|----|-------------|-------------|------------|--|-------------|
| | 0 | 1 | n | 0 | 1 | n | 0 | 1 | n | | | |
| BN sp | | \$ -32.164 | | \$ -595.667 | | \$ -32.164 | | \$ -595.667 | | \$ -32.164 | | \$ -595.667 |
| Cp | | | | | | | | | | | | |
| IT | | \$ 3.117 | | \$ 43.205 | | \$ 2.929 | | \$ 42.074 | | \$ 8.195 | | \$ 101.641 |
| EDANR | | \$ -4.283 | | \$ -477.867 | | \$ -4.481 | | \$ -499.934 | | \$ -316 | | \$ -35.255 |
| ET | | \$ -19.687 | | \$ -485.189 | | \$ -20.425 | | \$ -508.222 | | \$ -16.395 | | \$ -43.786 |
| INV | | | | | | | | | | | | |
| F | \$ -187.018 | | | \$ 35.000 | \$ -212.301 | | | \$ 45.000 | \$ -254.185 | | | \$ 50.000 |
| CT | \$ -26.487 | | | \$ 26.487 | \$ -28.162 | | | \$ 28.162 | \$ -6.987 | | | \$ 6.987 |
| N | \$ -20.000 | | | | \$ -20.000 | | | | \$ -30.000 | | | |
| BN cp | \$ -233.505 | \$ -16.570 | | \$ -380.497 | \$ -260.462 | \$ -17.496 | | \$ -392.987 | \$ -291.172 | \$ -8.199 | | \$ 114.842 |
| BN cysp | \$ -233.505 | \$ 15.595 | | \$ 215.170 | \$ -260.462 | \$ 14.669 | | \$ 202.680 | \$ -291.172 | \$ 23.965 | | \$ 710.509 |

Nota: *BN sp*: beneficio neto sin proyecto, *Cp*: con proyecto, *IT*: ingreso total, *EDANR*: egreso por daño ambiental no reducido, *ET*: egreso total, *INV*: inversiones; *F*: fijas; *CT*: capital de trabajo, *N*: nominales, *BN cp*: beneficio neto con proyecto, *BN cysp*: beneficio neto con y sin proyecto, *n*: años.

Fuente: elaboración propia.

5.2. Indicadores de rentabilidad considerando el daño ambiental.

Los indicadores de rentabilidad del ABC se visualizan en la Tabla 21. En la misma se puede observar que A1 y A3 poseen un VAN_s (valor actual neto social) positivo mientras que A2 presenta VAN_s negativo, siendo A3 quien presenta mayor beneficio anual y mayor TIR_s (tasa interna de retorno social). El VAN_s positivo le da viabilidad económica al proyecto de A1 y A3, comparando la anualidad del VAN_s se observa que A1 presenta menor beneficio anual que A3. A nivel de TIR_s, A3 es también superior, teniendo el capital invertido un mayor rendimiento promedio anual y la posibilidad de recuperar antes el monto invertido (periodo de recuero A3: 7 años vs. A1: 14 años).

Tabla 21. Indicadores de ABC para cada alternativa considerando el daño ambiental.

| Indicador | A1 | A2 | A3 |
|------------------------------------------------|-----------|------------|------------|
| VAN _s | \$ 21.594 | \$ -31.073 | \$ 548.397 |
| Anualidad del VAN _s (\$/año) | \$ 2.839 | \$ -4.085 | \$ 36.560 |
| Anualidad del VAN _s (\$/l de leche) | \$ 0,002 | \$ -0,003 | \$ 0,028 |
| TIR _s | 11 % | 8,45 % | 27 % |
| Periodo de recuero | 14 años | 15 años | 5 años |

Fuente: elaboración propia.

5.3. Indicadores de rentabilidad sin considerar el daño ambiental.

En este apartado representamos el flujo económico que percibe el productor sin considerar el valor económico del daño ambiental. Es importante notar que este es el valor relevante para la decisión privada (ver detalles Tabla 22). Así se observa que el VAN_p (valor actual neto privado) de las alternativas tecnológicas se reduce significativamente a tal punto que en A1 se vuelve negativo y solo A3 se mantiene como positivo pero con un valor menor (pasa de un VAN_s de \$548.000 a un VAN_p \$131.000).

Este hallazgo es muy importante porque muestra que al menos una de las alternativas es viable económicamente desde el punto de vista privado aún sin considerar el daño ambiental causado al resto de la sociedad. Consecuentemente; el productor guiado por su

propio interés aún encuentra un incentivo económico para adoptar esta tecnología de aprovechamiento del efluente.

Por otro lado se ha calculado el valor adicional del costo por litro de leche de las inversiones, es destacable que para un precio del litro de leche de 83 centavos, el costo medio del litro de leche aumentaría un 3,4%, 3,8% y 4,8% para A1, A2 y A3 respectivamente.

Es importante destacar que este hallazgo muestra la importancia de valorar los beneficios derivados del impacto ambiental aún cuando no existan precios de mercado. Dado, que una política pública que promoviera la adopción de tecnología si se basara en minimizar costos promocionaría A1, y consecuentemente incrementaría socialmente el costo medio de la producción de la leche en un 3,4%. En tanto, si la política pública reconoce el impacto ambiental mediante la valoración de beneficios la alternativa a promover sería A3 y esto curiosamente no solo no incrementa el costo medio de la leche sino que lo reduce, siendo socialmente más deseable aún.

Tabla 22. Indicadores de ABC para cada alternativa sin considerar el daño ambiental.

| Indicador | A1 | A2 | A3 |
|------------------------------------------------|------------|-------------|------------|
| VAN _p | \$ -85.421 | \$ -122.610 | \$ 130.917 |
| Anualidad del VAN _p (\$/año) | \$ -11.231 | \$ -16.120 | \$ 8.728 |
| Anualidad del VAN _p (\$/l de leche) | \$ -0,008 | \$ -0,012 | \$ 0,007 |
| TIR _p | 5 % | 3 % | 15 % |
| Periodo de recupero | 15 años | 15 años | 10 años |
| Anualidad VAC (\$/año) | \$ -37.735 | \$ -41.938 | \$ -52.734 |
| Anualidad VAC (\$/l de leche) | \$ -0,028 | \$ -0,032 | \$ -0,040 |

Fuente: elaboración propia.

5.4. Selección de alternativas tecnológicas.

En base a la evaluación económica realizada y a los indicadores de rentabilidad calculados, se selecciona la A3 (biodigestor: producción de biogas y abono orgánico). Esta elección se sustenta en que, si bien su VAN_s es positivo al igual que para A1, el valor que adquiere es ampliamente superior. Por otro lado, es la única alternativa que tiene VAN_p positiva.

5.5. Análisis de sensibilidad.

Las variables utilizadas en el análisis de incertidumbre son: producción de biogas, aumento o disminución del costo de oportunidad y reducción o aumento en el precio inicial de urea y fosfato diamónico. Además se sensibiliza el precio del gas oil comparando los escenarios propuestos por AACREA (2010) y EIA (2010).

En la Tabla 23, se muestra la variación del VAN_s cuando cambia el escenario de producción de biogas reportado por diferentes autores. Tomando los parámetros informados por Hilbert (s.f.) (en Argentina) la producción de biogas para el tambo representativo de San Basilio se calculo en 49 m³/día, mientras que si tomamos los parámetros informados por Yiridoe *et. al.*, (2009) en Canadá el cálculo es de 24,5 m³/día. Los cambios en el VAN_s son

drásticos, A1 pasa de tener un VAN_S positivo a ser negativo mientras que en A3 el VAN_S positivo se reduce en gran magnitud, cuando se tiene en cuenta el nivel de producción informado por Yiridoe *et. al.*, (2009).

Por otro lado, desde el punto de vista privado, si la producción de biogas fuese la informada por Yiridoe *et. al.*, (2009) la A3 deja de ser viable y reduciría el incentivo para la adopción por parte del productor. Este hallazgo también es muy importante y marca la necesidad de calibrar y ajustar las tecnologías de tratamiento de efluentes a nivel local para disponer de parámetros apropiados.

Tabla 23. Sensibilidad del VAN_S a la producción de biogas.

| | Hilbert (Argentina) | Yiridoe <i>et. al.</i>, (Canadá) |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| Biogas (m ³ /día) | 49 | 24,5 |
| VAN _S A1 | \$ 21.594 | \$ -25.323 |
| VAN _S A2 | \$ -31.073 | \$ -69.946 |
| VAN _S A3 | \$ 548.397 | \$ 194.948 |
| VAN _P A1 | \$ -85.421 | \$ -78.830 |
| VAN _P A2 | \$ -122.610 | \$ -115.714 |
| VAN _P A3 | \$ 130.917 | \$ -13.792 |

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 24, se observa la sensibilidad del VAN_S en función del costo de oportunidad, así cuando el costo de oportunidad es de 6% o menor A2 es viable económicamente, mientras que cuando el costo de oportunidad es mayor a 12% A1 dejar de ser viable. Solo A3 no muestra sensibilidad a la variación del costo de oportunidad tanto para VAN_S como para VAN_P.

Tabla 24. Sensibilidad del VAN_S a la disminución o aumento del costo de oportunidad.

| Costo oportunidad | VAN_S A1 | VAN_S A2 | VAN_S A3 | VAN_P A3 |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 6% | \$ 156.530 | \$ 88.643 | \$ 1.042.799 | \$ 286.658 |
| 9% | \$ 46.485 | \$ -8.776 | \$ 636.130 | \$ 163.933 |
| 12% | \$ -18.113 | \$ -66.806 | \$ 411.419 | \$ 74.100 |
| 15% | \$ -60.961 | \$ -105.536 | \$ 267.168 | \$ 7.106 |

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al resto de las variables citadas, el VAN_S no modifica las decisiones y podemos decir que A3 aparece como la alternativa más estable.

A modo de resumen se presenta la Tabla 25 en la cual se detallan distintos indicadores económicos para cada alternativa.

Tabla 25. Indicadores económicos sin y con daño ambiental.

| Indicador | A1 | A2 | A3 |
|--------------------------------------------|------------|-------------|------------|
| Inversión | \$ 233.505 | \$ 260.462 | \$ 291.172 |
| VAN _S | \$ 21.594 | \$ -31.073 | \$ 548.397 |
| VAN _P | \$ -85.421 | \$ -122.610 | \$ 130.917 |
| Anualidad del VAN _S /l de leche | \$ 0,002 | \$ -0,003 | \$ 0,028 |
| Anualidad del VAN _P /l de leche | \$ -0,008 | \$ -0,012 | \$ 0,007 |
| Anualidad del VAC _S /l de leche | \$ -0,050 | \$ -0,054 | \$ -0,043 |
| Anualidad del VAC _P /l de leche | \$ -0,028 | \$ -0,032 | \$ -0,040 |

Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

En primer lugar, es importante notar que los parámetros para los diseños técnicos varían sustancialmente y marcan la necesidad de calibrarlos a las condiciones locales de tratamiento de efluente. Por ejemplo, la producción de biogas sería de 49 m³/día considerando el trabajo de Hilbert (s.f.) en Argentina, mientras que la misma se reduce a 37 m³/día si consideramos el modelo de Harris (2009) desarrollado en el sur de Australia y a 24,5 m³/día considerando lo informado por Yiridoe *et. al.*, (2009) estimado para Canadá. El diseño del biodigestor, la capacidad de almacenamiento de biogas y el aprovechamiento de energía varían drásticamente considerando los parámetros informados y modifican significativamente las dimensiones de las inversiones y podrían afectar la viabilidad técnica y económica. Este es un aspecto muy importante para la agenda de innovación tecnológica de la región que debería desarrollar las tecnologías de tratamiento y aprovechamiento de efluentes ganaderos para las condiciones locales y así poder tener más certeza en los parámetros.

En relación a los aspectos económicos, los resultados hallados son consistentes con los encontrados con otros autores. Por ejemplo, Yiridoe *et. al.*, (2009) analizan la viabilidad económica de la producción de biogas para diferentes tamaños de hatos de vacas lecheras y cerdos incorporado el beneficio social de reducir olores, patógenos, germinación de semillas de malezas, contaminación de agua, EGEI además de la producción de abono orgánico y de energía, obteniendo como resultado que el VAN_s es positivo cuando el valor de la externalidad ambiental alcanza los CND \$10.000 para 250 vacas ordeñe y CND \$15.000 para 50 y 100 vacas en ordeñe. En contraste, también muestra que sin la valoración del daño ambiental la percepción desde el punto de vista privada (VAN_p) es prácticamente inviable la producción de biogas con la sola excepción de un tambo de 500 vacas totales. Por otro lado Giesy *et. al.*, (2009), para una laguna cubierta, incluyeron el beneficio por ahorro en la compra de energía eléctrica en el análisis de viabilidad debido a la sustitución de esta energía por la generada por el biogas, logrando VAN_p positivo cuando el precio es de 0,12 U\$\$/kWh para 650 vacas totales y de 0,10 U\$\$/kWh para 2100 vacas totales.

CONCLUSIONES

En este estudio, se conceptualizó el riesgo de contaminación ambiental debido al escaso tratamiento de los efluentes del tambo, se identificó las causas y posibles consecuencias si se mantiene el mismo nivel de intervención considerando como potenciales beneficiarios a los productores lecheros de San Basilio. Posteriormente, se diseñaron tres alternativas técnicas de tratamiento y aprovechamiento de los residuos e identificaron la cantidad de productos aprovechables para un tambo representativo. Debido a la inexistencia de precios para los productos generados por cada alternativa, en el estudio de mercado se identificaron y analizaron precios de mercados de productos sustitutos (gas oil, fertilizantes inorgánicos y electricidad), que fueron posteriormente utilizados en la evaluación económica. Se realizó el estudio de impacto ambiental identificando los factores ambientales modificados, las acciones del proyecto, los efectos positivos y negativos y la cuantificación de los impactos. Los resultados muestran que A3 durante el periodo de operación tiene un riesgo de compactación de suelo y esparcimiento de patógenos en los lotes que se aplica el abono orgánico y para ello se identificó un plan de monitoreo y mitigación. Finalmente, considerando el ABC se analizan dos situaciones: a) valorando el daño ambiental se estimó el VAN_S como indicador de rentabilidad económica desde la perspectiva social, y el VAN_P como indicador de rentabilidad económica privada, realizando análisis de sensibilidad para las variables consideradas inciertas.

Desde el punto de vista metodológico, este trabajo realiza contribuciones importantes. En primer lugar, el diseño de alternativas técnicas permite evidenciar diferentes formas de resolver el mismo problema y su dimensionamiento permite comparar sobre una base más objetiva: la flexibilidad, madurez de la tecnología, costos de inversión, como así también el impacto económico de las mismas.

En este sentido, el aporte empírico también es importante dado que se ha sistematizado la información dispersa y facilitado su comparación, como así también, muestra la necesidad de calibración *in situ* de la tecnología de producción de biogas. Este elemento es importante para la política de innovación tecnológica dado que hemos mostrado la relevancia técnica y económica de esta brecha de conocimiento.

En segundo lugar, se valoró la externalidad negativa causada por los efluentes del tambo sin tratamiento y se incorporó en el ABC, mediante la utilización de precios de mercado de productos sustitutos: gasoil, energía eléctrica, y fertilizantes, la cual constituye una forma simple y accesible de incorporar la dimensión ambiental en el análisis económico. En este sentido, es importante remarcar que el ABC supera al análisis costo efectividad o mínimo costo dado que permite comparar en términos monetarios alternativas donde los productos generados por el tratamiento de efluentes son diferentes y consecuentemente seleccionar las alternativas más eficientes desde el punto de vista económico.

En términos empíricos se pudo comprobar que los beneficios derivados del aprovechamiento de los productos compensa el incremento de costos de los tratamientos. Por un lado, las estrategias analizadas A1 y A3 resultan viables económicamente cuando consideramos el daño ambiental, esto debido a que los productos generados a través de la A1 (agua para lavado y abono orgánico) y A3 (biogas y abono orgánico) cuando son valorados económicamente muestran una fuente de beneficio con alta posibilidad de apropiación por parte del productor lechero, que hasta el momento considera al efluente como un problema. Por otro lado, aún sin considerar el valor económico de la externalidad negativa causada por EGEI el ABC muestra que la A3 es rentable. Por lo tanto, existe un incentivo económico privado para aprovechar los efluentes del tambo y posiblemente el único obstáculo sea la disponibilidad financiera para adoptar esta innovación además de lo señalado como brecha de conocimiento. Además el resultado económico es bastante estable aún en condiciones muy desfavorables, principalmente para la A3.

Es interesante destacar las implicancias de este hallazgo empírico para el diseño cuidadoso de una política lechera y la transferencia tecnológica. Una política que induzca a los productores a incorporar tecnologías de aprovechamiento de efluentes permitirá mejorar la posibilidad económica de los productores de adoptar y además reducir aún más el daño ambiental. El aprovechamiento de los efluentes se constituye, en este caso, prácticamente en un negocio independiente de la producción de leche y dado su viabilidad económica privada no induciría a mayores costos en la producción de leche. En contraste, una política que mantiene el *status quo* o una política basada solamente en la mitigación del impacto ambiental inducirían a mayores costos de producción. En síntesis, una política que induce el aprovechamiento de residuos redundaría en mejoras para el productor y para sociedad.

Por lo expuesto se considera que el estado provincial y nacional tiene en el sistema de innovación tecnológica un aliado estratégico para desarrollar la política lechera y ofrecerle a los productores lecheros, profesionales y extensionistas alternativas tecnológicas para controlar la externalidad ambiental y al mismo tiempo mejorar la economía de la producción lechera.

Es importante notar además que la adopción de tecnología de aprovechamiento de efluentes es una inversión importante para el productor y por lo tanto debería evaluarse la viabilidad financiera para diferentes tipos de productores para evitar discriminación económica en la política lechera.

Finalmente, en la provincia de Córdoba, estos resultados muestran perspectivas muy promisorias para promover una política en la producción lechera dado que permite, por un lado orientar al sistema de innovación tecnológica y extensión a cerrar una brecha importante de conocimiento, y por otro lado, al sistema financiero a establecer una política crediticia orientada a inversiones en tratamiento y aprovechamiento de efluentes que integrado a la

aplicación de la Ley 9306/06 completa un sistema consistente para inducir más integralmente un comportamiento ambientalmente más responsable de los productores lecheros.

Limitaciones

Aunque los resultados económicos y técnicos son consistentes y muestran una estabilidad importante antes cambios de las variables inciertas, es conveniente considerar que el estudio tiene algunas limitaciones. En primer lugar, en la estimación del daño económico ha sido considerado un solo efecto ambiental, el causado sobre la atmósfera sin considerar los efectos benignos que tienen las alternativas estudiadas sobre los otros factores del ambiente, p.e. control de la contaminación del agua, del suelo, de la biota, etc. En segundo lugar, el modelo considera datos tomados del extranjero cantidad y contenido de nutrientes del estiércol, y niveles de producción de excretas entre otros parámetros utilizados y como hemos mostrados algunos de estos datos tienen variaciones importantes que debería ser objeto de calibración locales. En tercer lugar, el diseño técnico de las alternativas tecnológicas ha sido desarrollado a nivel de prefactibilidad. En cuarto lugar, el estudio no ha considerado la viabilidad financiera de aprovechamiento de efluentes y por lo tanto, no se han tenido en cuenta las fuentes posibles de financiamiento de las inversiones, ni tampoco la distribución de los excedentes (p.e. impuestos nacionales y provinciales). Por último, el modelo empírico se desarrollo para productores representativos de una cuenca lechera del sur de Córdoba, por lo tanto los resultados empíricos y su extrapolación a otras situaciones debe ser evaluada y realizada con precaución.

BIBLIOGRAFÍA

- AACREA. 2010. Serie de precios agropecuarios.
- ABELSON, P. 1979. The method of cost benefit analysis. Pages 80-104 in Cost benefit analysis and environmental problems. Saxon House.
- BERNARDO, I.; E. BONADEO; I. MORENO; M. BONGIOVANNI; R. MARZARI. 2007. Material de apoyo didáctico para Sistema suelo – planta. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- BOARDMAN, A. E., D. H. GREENBERG, A. R. VINING, AND D. L. WEIMER. 1996. Cost Benefit Analysis: Concepts and Practice. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458.
- BOTTA, G.; R. BALBUENA; L. DRAGUI; H. ROSATTO; J. CLAVERIE. S.F.. Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistemas de labranza convencional. En: <http://www.unlu.edu.ar/~maqagro/LCONV.pdf> Consultado: 23/11/2010.
- CASAFE. S.F.. Cámara de Sanidad Agropecuaria y fertilizantes. En: http://www.casafe.org/web_css/mediciondemercado.htm Consultado: 03/05/2010.
- CHARLÓN, V.; A. CUATRÍN; M. TAVERNA; E. WALTER. S.F.. Evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de efluentes de instalaciones de ordeño. En: <http://www.prodti.us.es/congreso/carteles/CHARLON.pdf> Consultado: 18/11/2010.
- CHARLÓN, V.; M. TAVERNA; E. WALTER; F. MANZI. 2004. Riego por aspersión: un posible destino de los efluentes del tambo. En: http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documento/art_divulgación/ad_0008.htm Consultado: 28/10/2008.
- CHIDIAC, M.; y L. STANLEY. 2009. "Tablero de comando" para promoción de biocombustibles en Argentina. CEPAL - Naciones Unidas, Santiago, Chile.
- CISNEROS, J. M.; A. CANTERO GUTIÉRREZ; C. CHOLAKY; V. BECERRA; A. ANGELI; M. REYNERO. 2006. Material de apoyo didáctico para Uso y manejo de suelos. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- CONTRERAS, E. 2004. Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica. CEPAL, Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- EIA. Energy Information Administration, 2010. En: <http://www.eia.doe.gov/> Consultado: 02/05/2010.
- EPA. Environmental Protection Agency. 1999. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, desinfección con cloro. En: <http://www.epa.gov/owm/mtb/cs-99-062.pdf> Consultado: 24/11/2010.
- FAO. 2010. En: <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=291&lang=es> Consultado: 03/05/2010.

- GIESY, R.; A. C. WILKIE; A. DE VRIES; R. A. NORDSTEDT. 2009. Economic Feasibility of Anaerobic Digestion to Produce Electricity on Florida Dairy Farms. En: <https://edis.ifas.ufl.edu/an159> Consultado: 23/05/2011.
- HARRIS, P. 2009. Modelo para el diseño de un biodigestor. En: <https://www.adelaide.edu.au/biogas/> Consultado: 05/04/2010.
- HILBERT, J. A. S.F.. Manual para la producción de biogas. En: <http://www.inta.gov.ar/iir/info/matriz.htm> Consultado: 05/05/2010.
- KRAUSE, A¹.; S. ALLEN²; A. CHILDRESS²; S. CHILDRESS²; K. M. EMBLETON²; D. JONES². 2001. Características del estiércol de las especies animales. ¹Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.; ²Universidad de Purdue EE.UU. En: <http://www.purdue.edu/envirosoft/manure/spanish/src/species2.htm#dairy> Consultado: 21/04/2010.
- MASTERS G.¹; y W. ELA². 2008. Introducción a la ingeniería medioambiental. ¹Universidad de Stanford. ²Universidad de Arizona. Pearson educación. Tercera edición.
- OMS. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. 2006. En: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- PEC. 2009. Protocolo Específico de Cooperación. Municipalidad de San Basilio - Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. “Diagnóstico y Propuesta de Desarrollo Lácteo de San Basilio”. 2009. Río Cuarto – Córdoba.
- PEREYRA, C.; H. GIL.; J. DE PRADA. 2009. Guía de apoyo para desarrollara el Estudio de impacto ambiental. Trayecto curricular: Evaluación de Impacto Ambiental. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- SAPAG CHAIN, N. 1993. Criterios de evaluación de proyectos: como medir la rentabilidad de las inversiones. Chile.
- SECRETARIA DE AMBIENTE - MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTOS - GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA. 2010. En: http://www.secretariadeambiente.cba.gov.ar//legislaciones_recursos_naturales.htm Consultado: 21/05/2010.
- TAVERNA, M¹.; V. CHARLÓN¹; C. PANIGATTI²; A. CASTILLO¹; P. SERRANO³; J. GIORDANO¹. 2004. Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño “una contribución al logro de ambientes locales sanos”. ¹EEA Rafaela del INTA, ²UTN Delegación Rafaela, ³AER Brandsen del INTA. INTA EEA Rafaela, Santa Fe, Argentina.
- YIRIDOE, E.; R. GORDÓN; B. BROWN. 2009. Nonmarket cobenefits and economic feasibility of on-farm biogas energy production. En: <http://www.elsevier.com/locate/enpol> Consultado: 14/07/2010.