



¿Cómo reducir la inversión para realizar un manejo apropiado en el manejo de efluentes de tambo? Aspectos a tener en cuenta desde una experiencia práctica

Huerga, I.
INTA Venado Tuerto.



Palabras clave: manejo de tambo, efluentes.

Resumen

Los establecimientos lecheros demandan tecnología para realizar un manejo apropiado de sus efluentes. A través de una experiencia práctica en un tambo pastoril, ubicado en la zona rural de Venado Tuerto, se pudo determinar que una vaca en ordeño genera 52,9 litros de efluentes diarios, comprendidos especialmente por agua de lavado del corral de espera y sala de ordeño. La separación de sólidos permite quitar el 20% del volumen de esta corriente y reducir la carga orgánica del mismo. Para el resto de los efluentes, se propone realizar un tratamiento mediante un sistema de 3 lagunas de estabilización: una laguna anaeróbica y dos lagunas facultativas. La inversión a realizar para este tratamiento varía entre los U\$S 95 y U\$S 116 por vacuno en ordeño, pudiendo reducirse en un 30% si se realiza una mejora en el manejo del agua de lavado de las instalaciones.

Introducción

La intensificación en la producción animal genera un incremento de residuos y efluentes en sistemas agropecuarios. Su composición es compleja y variable, pudiendo generar efectos adversos al ambiente si los mismos no son manejados correctamente. Ejemplo de ello puede ser la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) y la contaminación de cuerpos receptores (suelo, agua subterránea y agua superficial).

En este sentido, existen diversas tecnologías para su tratamiento, utilización y disposición final, como: compostaje, digestión anaeróbica, lagunas de estabilización y aplicación en suelo son las más conocidas e implementadas en nuestro país (INTA 2019). Sin embargo, no existe un modelo único para ser aplicado en todos los sistemas agrícolas. Ejemplo de ello son los efluentes generados en los sistemas lecheros, donde la aplicación de una tecnología depende del uso de esta corriente. Independientemente de esto, es importante conocer qué y cuánto es lo que se está generando en cada instalación, por lo que el monitoreo de estos residuos es fundamental a la hora de tomar una decisión al respecto.

Por ello, se deben tener en cuenta las normativas de referencia para el manejo de efluentes, que pueden influir en el destino final de los efluentes. Particularmente, la provincia de Santa Fe ha desarrollado instrumentos legales que deben ser cumplidos: La ley marco de Medio Ambiente N° 11.717, su decreto Reglamentario 101/03 (Impacto Ambiental) y las resoluciones 1089/82 (efluentes líquidos), 201/04 (Calidad de Aire) y 306/2014 (Análisis de Riesgos) son algunos ejemplos de legislación existente a nivel local (Huerga 2019).

A través de un caso práctico realizado en un tambo ubicado en la zona rural de Venado Tuerto, este trabajo tiene como objetivos diseñar un sistema de tratamiento que permita cumplir con parámetros de vuelco; y establecer los montos de la inversión inicial a realizar para llevar adelante el tratamiento seleccionado.



Materiales y métodos

Caracterización del sistema

La experiencia práctica se llevó a cabo en un tambo pastoril ubicado en la zona rural de Venado Tuerto. El mismo posee un rodeo de 230 vacunos, que se ordeñan dos veces por día. Al momento de realizar el monitoreo, el promedio de producción era de 23 litros de leche por vaca por día.

Los efluentes se generan al limpiar los 460 m² de superficie que tienen el corral de espera (331 m²) y la sala de ordeño (130 m²). Esta operación se realiza por lavado a presión con agua, y es donde se genera el mayor volumen de líquido a tratar (Foto 1). Otros puntos de generación son:

- Agua proveniente del techo cuando se producen precipitaciones
- Restos de leche de descarte por diferentes anomalías en el proceso.
- Limpieza de máquinas y otras instalaciones

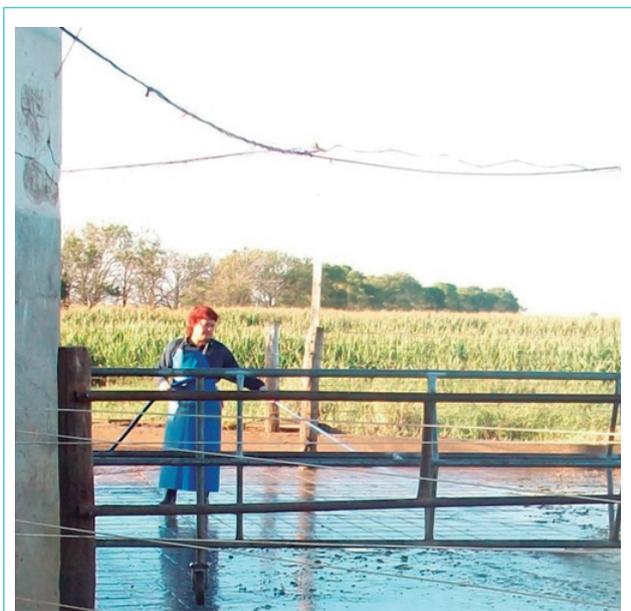


Foto 1. Lavado del Corral de espera.



Monitoreo de efluentes

El caudal de la bomba fue medido mediante un elemento cubicado de 200 litros y un cronómetro, a fin de conocer el tiempo de llenado del mismo (Foto 2). Esta prueba fue realizada por triplicado durante 4 visitas en días diferentes. Al mismo tiempo, se registró el tiempo total que lleva el lavado de las instalaciones.



Foto 2. Elementos utilizados para el monitoreo de efluentes.





Para conocer las características del efluente se generó una muestra compuesta, a partir de la recolección de distintas sub-muestras en un recipiente de 20 litros, que se fueron vertiendo en un tambor plástico de 200 litros. Esta acción se repitió cada 5 minutos durante toda la operación de lavado del tambo, en la zona del pozo de bombeo, donde confluyen todas las corrientes de efluentes (Foto 3). Finalizada la limpieza, se procedió a homogeneizar la muestra y tomar 1 litro de la misma para el análisis de Sólidos Sedimentables Totales en dos horas (Foto 4). Del sobrenadante (fase superior) se extrajo 1 litro de muestra y se la colocó en una botella para realizar el análisis fisicoquímico. Los parámetros a determinar con sus respectivas técnicas fueron: Demanda Biológica de Oxígeno (APHA 5210B), Demanda Química de Oxígeno (Reactor HACH/Espectrofotométrico), Nitrógeno Total

(Kiejdhal), Fósforo Total (EPA 2007), Sólidos Suspendidos Totales (EPA 2540 D), Sólidos Suspendidos Volátiles (EPA 2540 E).

Es importante destacar que se toma la muestra de efluentes de la fase superior, visto que los sólidos sedimentables no deberían ingresar al sistema de tratamiento de efluentes, y para el dimensionamiento de las lagunas se utilizan los valores de carga orgánica asociados a la fase líquida que ingresa a este sistema.



Foto 3. Pozo de bombeo de efluentes. Sector de monitoreo en canaleta de ingreso.



Foto 4. Cono Imhoff: elemento utilizado para determinar Sólidos Sedimentables.





Ecuaciones utilizadas para el dimensionamiento de las lagunas

Mediante la siguiente fórmula se calculó el volumen de efluentes generados en el lavado:

Ecuación N° 1

$$\text{Caudal lavado} \left(\frac{l}{d}\right) = \text{Tiempo lavado (min)} \times \text{Caudal Bomba} \left(\frac{l}{\text{min}}\right)$$

Conociendo que existen otras corrientes a contemplar que impactan en el volumen de efluentes, como son el lavado de ubres, lavado de equipo de ordeño y lavado de estanque de leche, se toma un factor del 1,23 según lo establecido por Zalazar (2012) para estimar el volumen total:

Ecuación N° 2

$$\text{Caudal lavado}_{\text{Total}}(l) = \text{Volumen Lavado} \times 1,23$$

Los efluentes generados por las precipitaciones se calculan mediante el volumen anual y la superficie construida, visto que los techos del tambo no cuentan con canaletas. La lluvia anual en la zona es de 900 mm. Se utilizará un coeficiente de escorrentía de 0,9, utilizado para el hormigón, ya que el corral de espera se encuentra construido con este mate-

Ecuación N° 3

$$\text{Caudal lluvia} \left(\frac{l}{d}\right) = \frac{\left(\text{Lluvia media anual} \left(\frac{\text{mm}}{\text{año}}\right) \times \text{Superficie Total (m}^2\right)\right)}{365 \text{ días}} \times 0,9$$

Se calcula el volumen total de efluentes sumando las ecuaciones 2 y 3:

Ecuación N° 4

$$\text{Caudal de Efluentes} \left(\frac{l}{d}\right) = \text{Caudal lavado total} \left(\frac{l}{d}\right) + \text{Caudal Lluvia} \left(\frac{l}{d}\right)$$

Para el dimensionamiento de las lagunas se utilizará como parámetro la Carga Orgánica, que vincula la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) con el caudal (Ecuación 5), el tiempo de retención hidráulico que vincula el volumen de las lagunas con el caudal del efluente (Ecuación 6) y la carga superficial (Ecuación 7) y volumétrica (Ecuación 8):

Ecuación N° 5

$$\text{Carga orgánica} \left(\frac{\text{Kg DBO}}{d}\right) = \text{Concentración de DBO} \left(\frac{\text{Kg}}{l}\right) + \text{Caudal Efluentes} \left(\frac{l}{d}\right)$$

Ecuación N° 6

$$\text{Tiempo de Retención Hidráulico (días)} = \frac{\text{Volumen de lagunas}}{\text{Caudal}}$$

Ecuación N° 7

$$\text{Carga Superficial} \left(\frac{\text{Kg DBO}}{\text{Ha.d}}\right) = \frac{(\text{Carga Ingreso a laguna} - \text{Carga de Egreso de laguna})}{\text{Superficie de laguna}}$$

Ecuación N° 8

$$\text{Carga Volumétrica} \left(\frac{\text{Kg DBO}}{\text{Ha.d}}\right) = \frac{(\text{Carga Ingreso a laguna} - \text{Carga de Egreso de laguna})}{\text{Volumen de laguna}}$$

Datos de diseño para el dimensionamiento del sistema de tratamiento

La primera etapa del tratamiento de efluentes es la sedimentación, donde se obtienen dos fases: una inferior, con alto contenido de sólidos totales, que será retirada para su secado y estabilización; y otra fase superior, con menor contenido de sólidos totales, que pasará a un sistema de tratamiento mediante 3 lagunas: anaeróbica, facultativa y aeróbica.

Para el dimensionamiento de las lagunas, se utilizará el método de cálculo por tiempo de retención hidráulico, adoptando un valor de 60 días y una remoción del 70% para la laguna anaeróbica; 90 y 40 días para las facultativas, con un 55% de remoción (Mason 1997). Realizado el cálculo, se chequearán la capacidad de carga volumétrica (para la laguna anaeróbica) y superficial (para la laguna facultativa) con otros estudios afines a la temática.

Los parámetros de vuelco a cumplir para el efluente se encuentran establecidos en la Resolución 1089/82, Título E "Desagüe a cuenca elemental cerrada" o título F "Desagüe a cursos de agua no permanente". Ambos títulos establecen que "cuando los efluentes se vuelquen a lagos, lagunas, etc. que no están unidos a la red hidrográfica de la corriente principal, las condiciones de vuelco serán establecidas por el subsecretario de medio ambiente y ecología en función de las características particulares del cuerpo receptor". Se tomará como referencia el título d "desagüe a pozos o a campos de drenaje", donde se establece que el límite de descarga para la demanda biológica de oxígeno es de 200 mg/l.

Resultados

Volumen de efluentes generados y características

En la Tabla N° 1 se puede observar los registros de tiempo de lavado y caudal de la bomba registrado al momento de realizar la limpieza.



Tabla 1: Generación de efluentes en tambo pastoril

Fecha	22/03	29/03	04/04	12/04
Tiempo lavado (minutos)	98	96,25	103	91,25
Caudal (l/min)	47,03	45,17	49,11	46,81
Volumen efluentes ordeño	4609	4347	5058	4271
Vacas en ordeño	230	230	230	233

Al utilizar la ecuación N° 1 se puede asumir que el valor medio de generación de efluentes es de 4572 litros. Asumiendo dos ordeños diarios, el valor de la generación será de 9144 litros. Al aplicarle el factor sugerido por Salazar (2012), se puede estimar que una vaca de ordeño del tambo analizado genera 48.9 litros por vaca por día.

Contemplando el régimen de precipitaciones medio de la zona y la superficie de las instalaciones del tambo, con la ecuación N° 2 se puede estimar un valor de 380.000 litros de efluentes anuales (936 litros/día; 4 l/vaca/día). Este efluente puede ser variable en cuanto a su composición, que dependerá si las instalaciones se encuentran limpias o no al momento de provocarse el fenómeno climático. Para los fines del trabajo consideramos a esta

corriente como un efluente limpio, que aportará volumen pero no carga orgánica.

Aplicando ambos valores a la ecuación N° 3, el volumen total de efluentes sería de 52.9 l/vaca/día. Según lo estudiado por Karina García de INTA Rafaela (García et al. 2008), este valor puede ascender a 78 l/vaca/día; y con algunas medidas de buenas prácticas puede reducirse a 26 l/vaca/día. Herrero (2009) haciendo una estimación a nivel nacional, considera la generación de 50 l/vaca/día, corroborando el valor obtenido en la experiencia desarrollada.

En la Tabla N° 2 se muestran los resultados de los análisis realizados: el contenido de sólidos sedimentables sobre el total de la muestra y los parámetros fisicoquímicos realizados en la fase superior.



Tabla 2: Parámetros fisicoquímicos de los efluentes.

Fecha	Sobre toda la muestra	Sobre la fase superior de la muestra						
	Sólidos Sedimentables (ml/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Relacion DBO/DQO	Fósforo total (mg/l)	Nitrógeno Total (mg/l)	ST (%p/v)	SV (%p/v)
29/03/2019	200	4530	13500	0,34	104,96	280	1,38	0,95
04/04/2019	200	2460	11736	0,21	105,62	473,1	1,17	0,58
12/04/2019	180	5125	16650	0,31	129,89	910,4	1,51	0,82



Se puede observar una relación entre la DBO y DQO acorde a lo encontrado en otros monitoreos de efluentes de tambo. Charlón et al. (2006, 2013) muestran un valor de DBO y DQO de 3092 mg/l y 5220 mg/l, respectivamente. En un estudio realizado en 11 tambos de la provincia de Buenos Aires, encontraron valores medios de DBO y DQO de 974 mg/l y 5500 mg/l, respectivamente. Es de conocimiento que estos valores se encuentran vinculados a la cantidad de sólidos totales de la muestra: mayor contenido de sólidos, mayor concentración de DBO y DQO (Herrero, 2008).

En cuanto a los nutrientes (nitrógeno y fósforo), estos también se encuentran presentes en la fase sólida del efluente, siendo despreciable su concentración en la líquida (García, 2015). Los valores encontrados son acordes a los mostrados por Imhof et al. (2011), donde muestran concentraciones de fósforo de 81 mg/l y nitrógeno total de 966 mg/l.

Tratamiento seleccionado

Los efluentes generados en el lavado de la sala de ordeño y corral de espera serán derivados a un sistema de separación de sólidos. Para esta etapa, se contemplan dos posibilidades: tamiz mecánico o decantador estático.

El decantador diseñado para esta experiencia se encuentra conformado por dos receptáculos: el primero recibe el efluente crudo, pasando el sobrenadante a una segunda cavidad (Figura N° 1). Entre ambos receptáculos se colocan medios de separación a fin de que pueda pasar la fracción con menor cantidad de sólidos. Está preparado para alojar el total de efluente generado por dos ordeños a fin de que, una vez por día, pueda retirarse el sólido sedimentable y colocarse en el sector destinado al tratamiento del mismo.

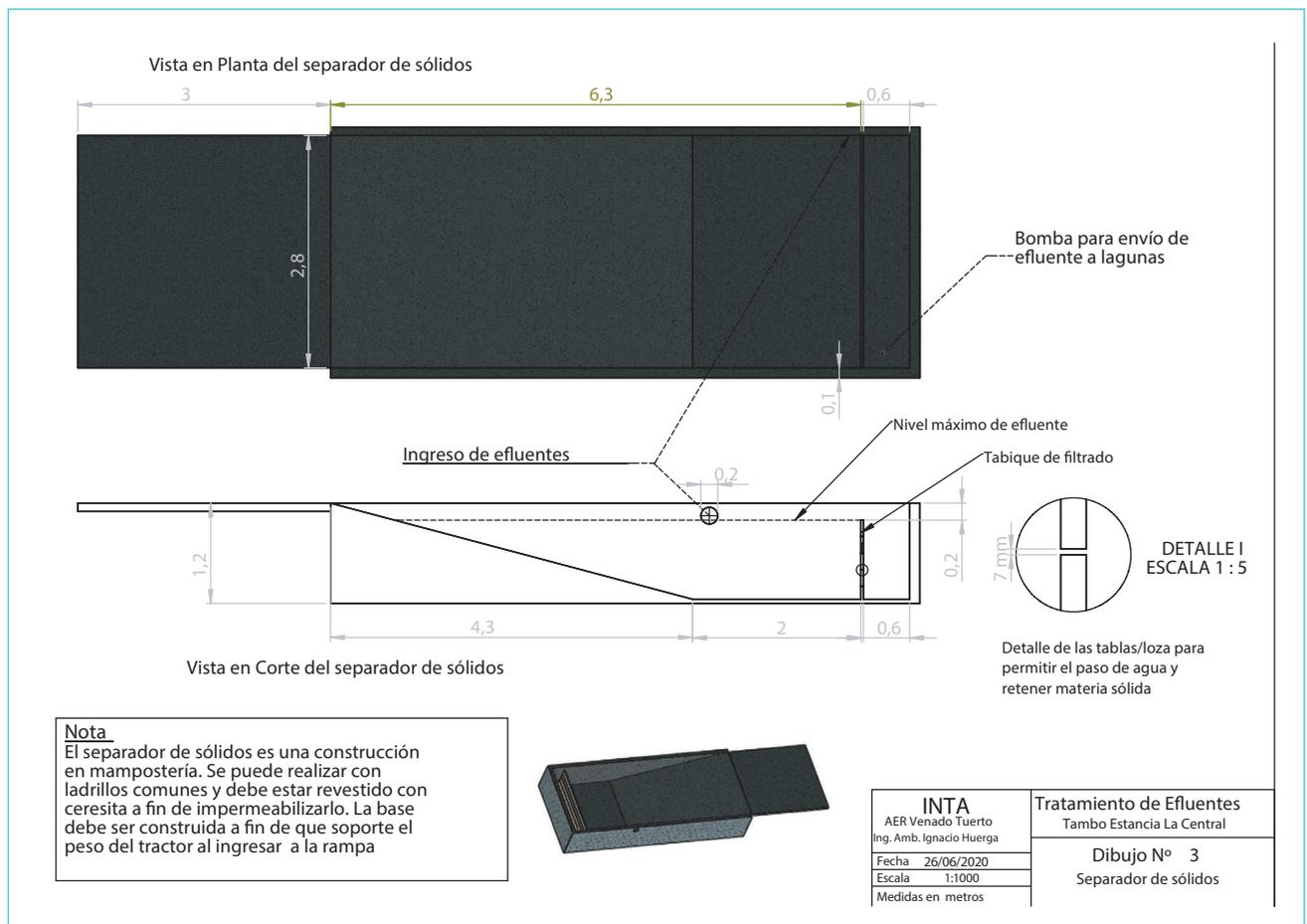


Figura N° 1



El tamiz es una tecnología validada por distintos tambos y se deberá contemplar su adaptación al establecimiento en cuestión. La ventaja que tienen los equipos frente al sedimentador estático, es que demandan menos tiempo en mano de obra para que el manejo de los efluentes no presente alteraciones en cuanto a los sólidos. El mecanismo que utiliza para la separación sólido-líquido es la filtración.

El líquido clarificado es enviado por bombeo hacia el sistema de lagunas conectadas en serie: laguna anaeróbica (primera), facultativa (segunda) y aeróbica (tercera). Las lagunas se conectan a través de cañerías de 160 mm de diámetro y el líquido pasa por gravedad entre lagunas. Las dimensiones y características se describen en la tabla N° 3 y se pueden visualizar en las figuras N° 2 y N° 3. Los datos del tratamiento de efluentes son detallados en la Tabla N° 4.

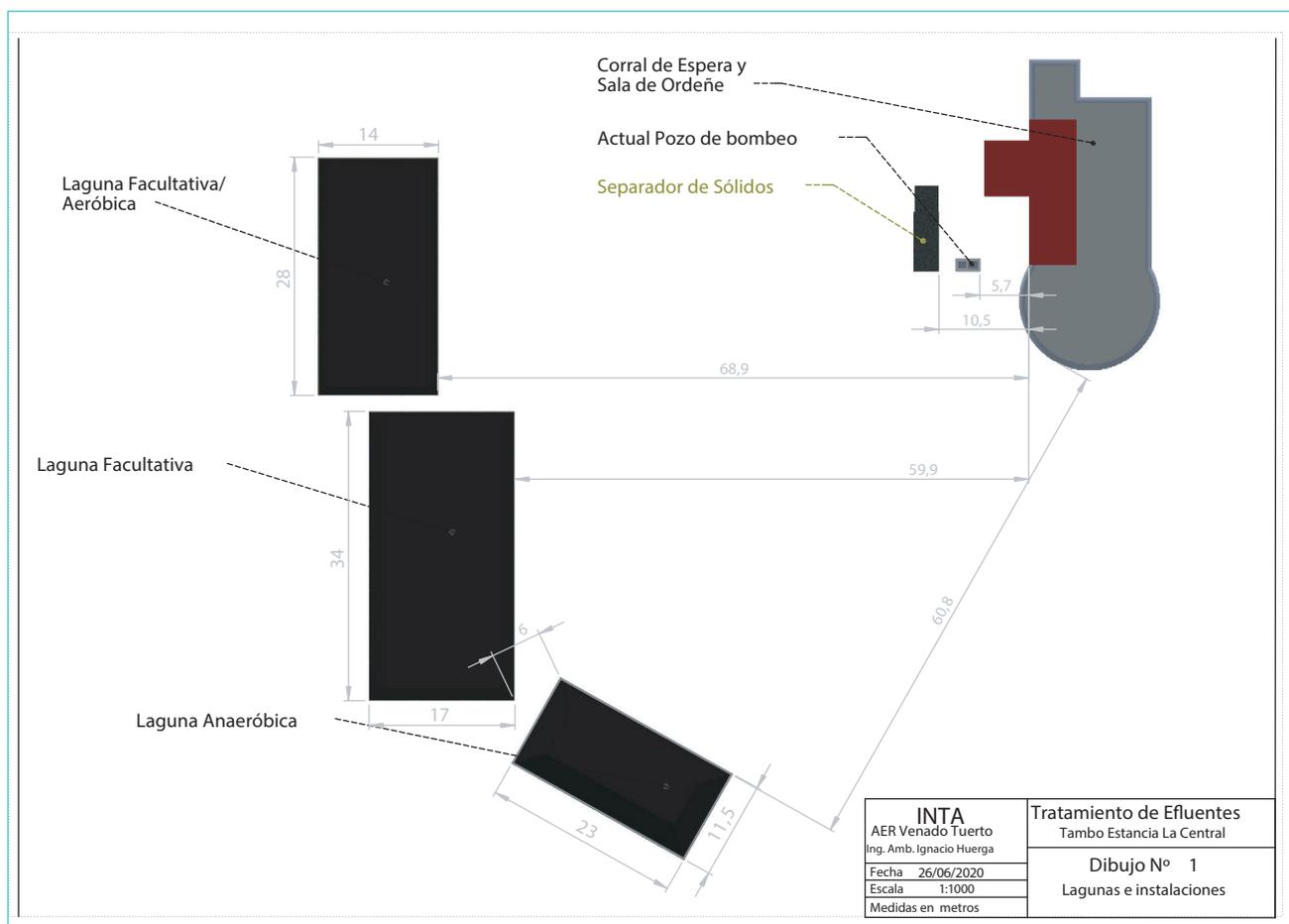


Figura N° 2

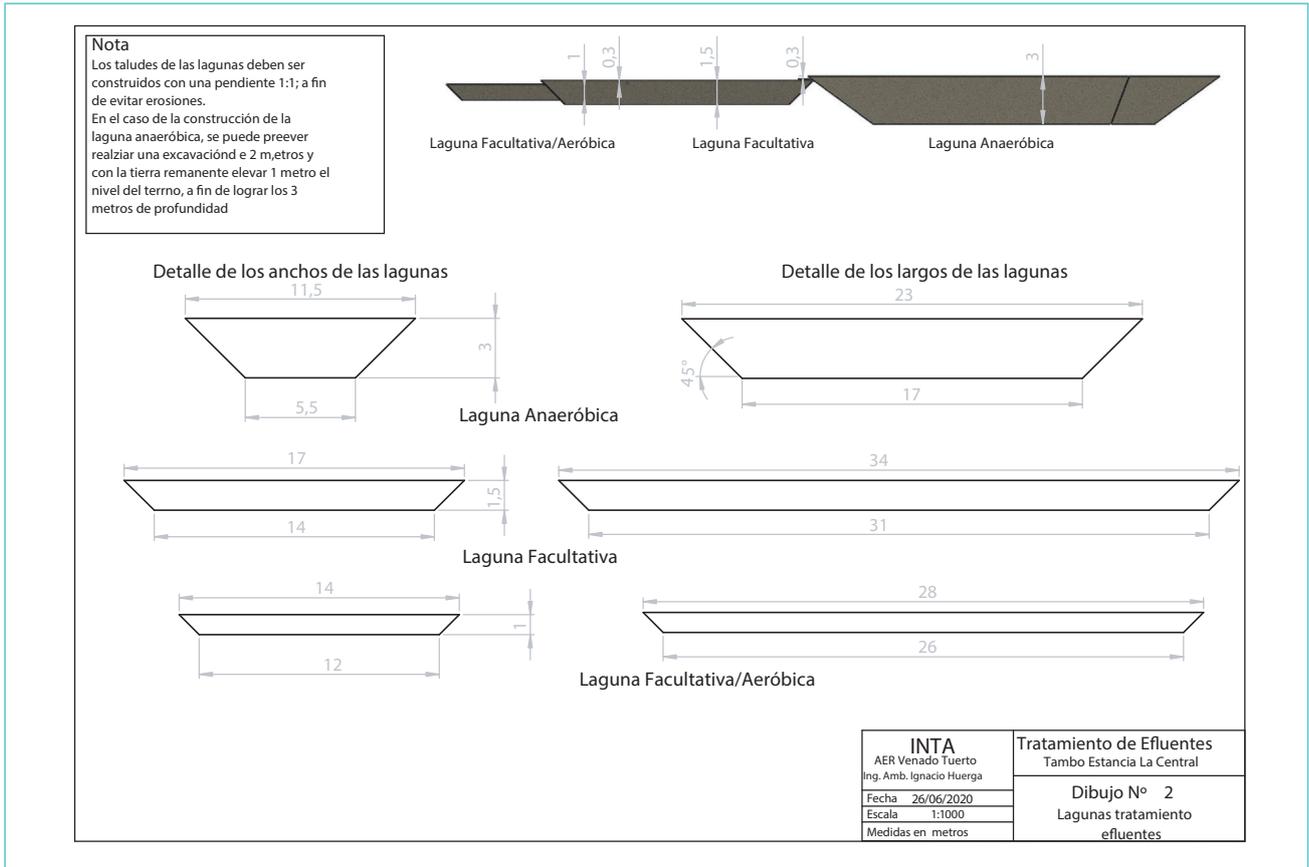


Figura N° 3

Tabla 4: Dimensiones de las lagunas de tratamiento de efluentes.

Parámetro	Valor	Unidades	Observaciones
Caudal efluentes lavado	9144	l/d	
Sólidos sedimentables	1829	kg/d	
Fase líquida	7315	l/d	
Caudal efluentes lluvia	947	l/d	Efluente "limpio". Solo techos y corral de espera
Volumen total de efluentes	8262	l/d	
Concentración DBO	3576	mg/l	Contempla dilución por agua de lluvia
Carga DBO	30	kg/d	
Concentración DBO salida laguna anaeróbica	644	mg/l	
Carga Volumétrica	0.03	KgDBO/m3.d	
Concentración DBO salida laguna facultativa 1	354	mg/l	
Carga superficial	48	Kg/ha.d	
Concentración DBO salida laguna facultativa 2	195	mg/l	
Carga superficial	20	Kg/ha.d	



Se puede chequear que, con las dimensiones adoptadas, se cumplen los valores sugeridos por distintos autores de referencia para este tipo de tratamiento. Si bien son específicos para efluentes cloacales, se toman como referencia para el efluente en cuestión en función de los parámetros encontrados. (Medcalf & Eddy 1998; US EPA 1999)

Inversión a realizar

Se resume en la tabla N° 6 los montos más significativos de la obra a realizar. Se proponen distintas opciones para el manejo: una de máxima (separación con medios mecánicos e impermeabilización de las tres lagunas) y una de mínima (separación con decantador e impermeabilización de dos lagunas).

En lo que respecta a la alternativa de máxima, el valor de la inversión es de U\$S 26.812 (U\$S 3.25 por m³ diario de efluente generado; 116,6 U\$S por vacuno en ordeño), mientras que en la opción de mínima el monto se reduce a U\$S 21.869 (2.65 U\$S por m³ diario de efluente generado; 95,1 U\$S vacuno en ordeño).

Estos valores que no se alejan de lo propuesto por García (2015) donde la inversión a realizar, contemplando los ítems mencionados en la tabla anterior, es de 88 a 125 U\$S/V.O. Charlón, (2013) para un sistema de tratamiento similar al presentado en este trabajo, estima una inversión de 88 U\$S/V.O. Ambas autoras constatan lo visto en este análisis de costos, donde el movimiento de suelos y la impermeabilización representan entre un 70 y 75% del total de la inversión para un tratamiento de efluentes mediante lagunas

Consideraciones finales

Hay distintas alternativas para realizar un manejo apropiado de efluentes en las instalaciones tamboras, que dependen del destino final de los mismos. En este trabajo se presenta un tratamiento que tenga como objetivo cumplir con parámetros de vuelco, a través de la separación de sólidos (aspecto clave para disminuir la carga orgánica de esta corriente) y lagunas de estabilización.

Dicha alternativa es factible para los tambos de la región pampeana, visto que no implican costo operativo pero sí ocupan superficie que podría ser aprovechada en otros usos. En el caso de estudio, donde un vacuno en ordeño genera 52,9 litros de

efluentes por día, cada animal demandaría 5,9 m² de laguna y hasta 12 m² por toda la superficie ocupada por la obra de tratamiento de efluentes.

Desde el punto de vista de la inversión, es loable destacar la influencia de realizar un buen manejo del agua en las instalaciones del tambo. Con buenas prácticas en el lavado de las instalaciones y evitando que el agua de lluvia ingrese al sistema de tratamiento, se puede reducir como mínimo un 30% del volumen de efluentes generados. En el presente trabajo, implicaría llevar la inversión a U\$S 73 – 92 por V.O, lo cual indica, claramente, que un buen manejo de efluentes no solamente evita la contaminación de recursos sino también la reducción de la inversión asociada al manejo de los mismos.

Agradecimientos

A la Lic. Mg Karina García, de INTA EEA Barrow, por su asistencia permanente en el trabajo realizado. Al establecimiento "La Central" donde se llevó a cabo el trabajo de campo.



Bibliografía

- Charlón, V., Cuatrín, A., Taverna, M., & Walter, E. (2006). Evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de efluentes de instalaciones de ordeño. Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua (Córdoba, Argentina).
- Charlón, V. (2013). Almacenamiento en lagunas y distribución de efluente líquido. En "Jornada Nacional de Gestión de Residuos Pecuarios" INTA Rafaela, 2013.
- García, K., Charlón, V., Cuatrín, A., Taverna, M., Walter, E., & Rafaela-INTA, E. E. A. (2008). Determinación de las eficiencias de remoción de contaminantes logradas por un sistema de tratamiento de efluentes generados en tambos. In Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. 2. 2008 11 5-7, 5 al 7 de noviembre de 2008. Córdoba. AR.
- García, K. (2015). Manejo de efluentes en instalaciones tamberas. Jornada Nacional de Forrajes Conservados. 6. 2015 04 22-23, 22 y 23 de abril de 2015. EEA Manfredi, Córdoba. AR
- Herrero, M.A; Gil, S.B. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología Austral* 18:273-289
- Huerga, I. Residuos Pecuarios. Actualidad de normativas y lineamientos para regulaciones provinciales. Revista "Para mejorar la Producción N° 58"
- Imhoff, S., Ghiberto, P., Carrizo, M. E., Charlón, V., Zen, O., & Gambaudo, S. (2011). Uso alternativo de efluentes de tambo para disminuir el impacto ambiental. In V Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente de REDIBEC y V Jornadas de la Asociación Argentino-Uruguaya de Economía Ecológica, Santa Fe. Resumen en CD de V CISDA.
- INTA. Proyecto Disciplinario "Estudio del impacto ambiental, gestión y tratamiento de residuos y efluentes sobre sistemas agropecuarios y agroindustriales para su valorización agronómica". Cartera de proyectos 2019 – 2025. 2019
- Mason, I. G. (1997). Performance of a facultative waste stabilization pond treating dairy shed wastewater. *Transactions of the ASAE*, 40(1), 211-218.
- METCALF & EDDY, INC. (1999) Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización (TERCERA EDICION). Volumen I. Editorial Mc Graw Hill.
- Salazar, S. (2012). Manual de manejo y utilización de purines de lechería.
- Sosa, N., Gambaudo, S., Fontanetto, H., & Keller, O. (2013). Aplicación de enmienda orgánica en un cultivo de maíz. INTA EEA Rafaela.
- United State Environmental Protection Agency (US EPA) (1999). Wastewater Technology Fact Sheet: Sequencing Batch Reactors. UEP Agency, Editor.