

Caracterización de los efluentes de un tambo

Characterization of Effluents From a Dairy Farm

WALTER MARIO GLESSI

Ingeniero químico. MSc. en Ingeniería Química. Profesor adjunto exclusivo, Tecnología de Procesos de los Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina
wglessi@mdp.edu.ar

JORGE FROILÁN GONZÁLEZ

Ingeniero químico. PhD en Ingeniería Química. Profesor titular exclusivo, Departamento de Ingeniería Química, Ingeniería de Procesos II (Reactores Microbiológicos), Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina
froiland@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo muestra la caracterización del efluente generado por un tambo de la zona sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Durante un año de monitoreo se efectuaron mediciones del caudal, la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos totales (ST) y los sólidos sedimentables (SS). Se observaron cuatro etapas bien diferenciadas que coinciden con los procesos operativos de los ordeños diarios. En promedio, por ordeño el efluente volcado fue de alrededor 7000 L y los valores de SS y ST fueron de 116 ml/L y 572 mg/L, respectivamente. Los valores de DQO resultaron claramente diferenciados en las cuatro etapas con un promedio general de 3413 mg O₂/L. El propósito del trabajo fue realizar una caracterización detallada en un tambo representativo de la zona.

Palabras clave: ordeño, sedimentación, caudal, digestión.

RECIBIDO: 23/06/2013 APROBADO: 22/08/2013

— Cómo citar este artículo: Glessi, W. M. y González, J. F. (2013). Caracterización de los efluentes de un tambo. *Revista Ciencia Animal* (6), 77-86.

ABSTRACT

This work shows the characterization of the effluent generated by a dairy farm from the southeast area of the province of Buenos Aires, Argentina. Flow, chemical oxygen demand (COD), total solids (TS) and settleable solids (SS) were measured during one year of monitoring. Four distinct stages were observed that coincide with the operational processes of daily milkings. On average, the effluent per milking was of approximately 7000 L and the TS and SS values were 116 ml/L and 572 mg/L, respectively. COD values were clearly different in the four stages, with an overall average of 3413 mg O₂/L. The purpose of the paper was to conduct a detailed characterization in a dairy farm that is representative of the area.

Keywords: Milking, Sedimentation, Flow, Digestion.

Introducción

La intensificación y la concentración de la explotación agropecuaria tienen como finalidad lograr mayor productividad y beneficio económico. Cuando esta práctica se realiza sin considerar el medio ambiente, pueden generarse impactos negativos que ponen en riesgo la sustentabilidad de la explotación. En los tambos, durante el ordeño y mientras los animales permanecen en corrales de espera, se genera un efluente líquido (Herrero, 2008).

El trabajo se desarrolló en un establecimiento ubicado en la localidad Los Pinos, Partido de Balcarce, en la provincia de Buenos Aires, Argentina. La explotación

posee 115 ha y una instalación de ordeño con elaboración de masa (tambo-fábrica), ya que el destino de la producción son fábricas de mozzarella. El establecimiento realiza diariamente tres ordeños utilizando 260 animales promedio de los cuales 140 están en producción. Esto le permite obtener una media de 2800 L de leche diarios. La caracterización del efluente se realizó considerando las etapas del proceso productivo.

Revisión bibliográfica

En la provincia de Buenos Aires el consumo promedio de agua en los tambos es de aproximadamente 32 000 L/día y los efluentes poseen los siguientes destinos: el 58% en lagunas artificiales, el 30% en

arroyos o lagunas naturales y el restante en potreros u otras alternativas (Nosetti, 2002). Como indicador indirecto de carga orgánica en el efluente se mide la demanda química de oxígeno (DQO). El valor promedio en la disposición final (en laguna) es de alrededor 1000 mg/L, con un valor inicial promedio de alrededor 6000 mg/L. Los valores de pH oscilan alrededor de 7,5 en las lagunas de tratamiento y las lagunas artificiales no son diseñadas como tratamiento, sino como almacenamiento de efluentes (Herrero, 2008).

El destino final de los efluentes líquidos de tambos en países como Estados Unidos, Canadá, Australia y Nueva Zelanda es similar al descrito en lagunas artificiales, realizándose vuelcos a lagunas en etapas consecutivas para su transformación. Estas diferencias son concordantes con los tipos de explotación, por un lado, pastoril o mixto y, por otro lado, totalmente intensivo (Nosetti, 2002).

Los efluentes pueden ser tratados mediante tratamiento aeróbico, anaeróbico o a través de una combinación de ambos. En países densamente poblados como Holanda se vierten los efluentes en la red pública y se realizan tratamientos terciarios. En Nueva Zelanda se utilizan lagunas en dos etapas diseñadas principalmente para remover sólidos suspendidos y demanda biológica de oxígeno. Actualmente, están siendo utilizados sis-

temas en cuatro etapas: fermentación, aireación, sedimentación y maduración (Maunfort, 2004).

En Texas (Estados Unidos) los efluentes de tambo son usualmente considerados un problema sanitario; un mal diseño de los tratamientos puede causar contaminaciones con amoníaco, nitratos, fosfuros, detergentes y organismos causantes de enfermedades. Es importante aprovechar los nutrientes como nitrógeno y fósforo para que los cultivos puedan utilizarlos de acuerdo con sus necesidades (Davis, 2009). En Indiana (Estados Unidos) se considera que cien vacas lecheras producen aproximadamente 2000 m³ de efluentes al año por medio de deyecciones (Davis, 2009); esto le confiere un gran potencial para la reducción de costos en fertilización. En los sistemas de producción intensiva los sistemas de tratamiento incluyen bombas de transporte, lagunas de almacenamiento y sistemas de irrigación (Davis, 2009), y la acción biológica natural conduce a una reducción en los olores durante la irrigación, el contenido de nitrógeno se reduce hasta en un 80%, lo cual minimiza el área de aplicación y aumenta el tiempo de almacenamiento (Larson y Safferman, 2008).

Los olores, las infiltraciones por irrigación y el reporte de enfermedades atribuidas a *E. coli* en California destacan los problemas del manejo de estos efluentes de

tambos, y lo ideal es desarrollar subproductos valiosos (Ravva, 2006). El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica, teniendo en cuenta que a 550 ± 50 °C, la materia orgánica se oxida formando agua y gas carbónico que se volatilizan. Sin embargo, en ausencia de oxígeno, estos sólidos volátiles terminan en la formación de metano y gas carbónico (Clesceri, 1998).

Materiales y métodos

Los efluentes líquidos generados en los tambos están conformados por una fracción líquida que proviene del lavado de los equipos de ordeño y corrales, los cuales contienen restos de orina y leche y otra fracción sólida compuesta de heces, restos de alimentos y tierra.

Caracterización del efluente

Se estimó el caudal del efluente y se tomaron muestras representativas en función de los volúmenes promedio volcados en cada una de las siguientes etapas operativas: A) traslado de animales y limpieza de las instalaciones, B) espera en los corrales para el ingreso, C) ingreso a las bajadas de ordeño donde los animales también se alimentan y D) egreso de los animales al corral de salida para ser llevados al campo. Se realizaron determinaciones de sólidos totales, sólidos sedimentables y DQO durante tres turnos y con dos muestras por etapa.

Estimación de los caudales

Los caudales fueron determinados mediante un caudalímetro que se diseñó y construyó específicamente para el desarrollo de este trabajo. Se estimó el caudal total del efluente observando que todo el caudal principal pasaba a través de una canaleta de sección triangular a aproximadamente 1 m/s. De acuerdo con la geometría de la canaleta, se determinó un caudal máximo de 6 L/s, o sea 21 600 L/h. Se diseñó un vertedero triangular graduado de acuerdo con las recomendaciones del Handbook for Monitoring Industrial Wastewater (EPA, 1973) para caudales menores de 60 L/s.

Para calibrar el medidor de caudales se utilizó una bomba de 30 000 L/h, un tambor de 100 L, un cronómetro y un recipiente para atenuar el efecto de la velocidad de salida del agua. Se cronometró el tiempo en llenar el tambor de 100 L con tres repeticiones para distintas aperturas de la válvula y se registró la altura del rebalse en el medidor de caudal. Con los cálculos de altura normal del rebalse (h) y el caudal (ft^3/s) resulta la correlación:

$$Q = 3,82 h^{2,55}$$

Para la medición de los caudales se dispuso del medidor de caudal, de modo que interceptara la totalidad del efluente líquido. Se registró el caudal instantáneo cada cinco minutos, comenzó antes del

ordeño y terminó en el momento que se aprecia la ausencia del efluente en el vertido del medidor. Se registraron las mediciones durante seis ordeños que duraron en promedio 3,5 horas. En la figura 1 se observa el registro durante un turno de ordeño del caudal volcado en las cuatro etapas operativas A a D.

SÓLIDOS TOTALES

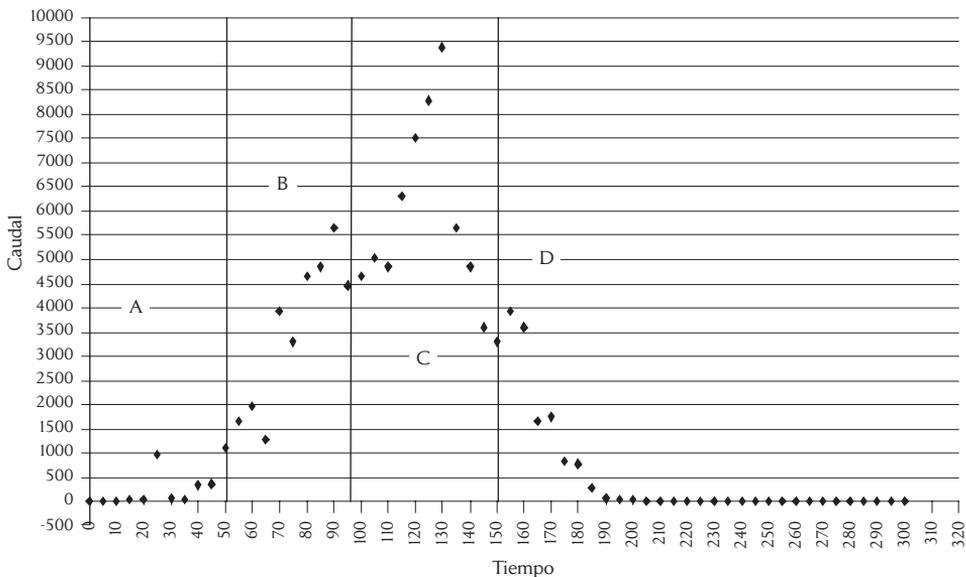
Se tomaron dos muestras equidistantes por etapa durante tres ordeños completando 24 muestras totales y sobre un plato, previamente tarado y secado en horno a 103-105 °C, se evaporó una muestra hasta peso constante. Las interferencias

pueden ocurrir cuando existe una importante mineralización del agua con calcio, magnesio, cloruros o sulfatos. Se pipeteó, desde una profundidad media de la muestra, manteniendo agitación; se mantuvo al disco por 1 h a 103-105 °C en horno. El ciclo se repitió hasta que el peso no varió en un 4%, o sea inferior a 0,5 mg. Las muestras se realizaron por duplicados y sin que hayan diferido en un 5% del peso promedio (Clesceri, 1998, Method 2540B).

Cálculos:

$$\text{mg total s} - \text{liados} / \text{Lt} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{volumen de la muestra (ml)}}$$

Figura 1. Registro del caudal instantáneo en (L) respecto del tiempo (min) en un turno mañana de ordeño durante la etapa de caracterización del efluente



Fuente: elaboración propia.

A: Peso del residuo seco + disco (mg); B: Peso del disco (mg)

SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Se tomaron dos muestras equidistantes por etapa durante tres ordeños completando 24 muestras totales. Se requirió un cono de IMHOFF, y se realizó sobre base volumétrica; se completó el cono hasta la marca de 1 L con una muestra bien mezclada y se dejó sedimentar por 5 min, luego se registró el valor en mL/L y se continuó con la sedimentación finalmente se registró el valor a las 2 h. El límite práctico inferior para la medición depende de la composición y generalmente se encuentra entre 0,1 y 1 mL/L (Clesceri, 1998, Method 2540F).

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): STANDARD METHOD 5220D

Del mismo modo que para los sólidos totales y sólidos sedimentables se tomaron dos muestras equidistantes por etapa durante tres ordeños completando 24 muestras totales, la cantidad de un oxidante específico que reacciona bajo condiciones controladas es definida como DQO y por sus propiedades el ión $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ es el oxidante indicado. Las muestras obtenidas no fueron inmediatamente analizadas por lo que se las acidificó con H_2SO_4 concentrado a $\text{pH} < 2$. La muestra de efluente fue digerida en una solución ácida (H_2SO_4) con exceso de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. La digestión se realizó

a 150°C durante 1 h, el tiempo estándar de 2 horas se redujo por la invariabilidad de los resultados. Todas las muestras fueron digeridas y, posteriormente, analizadas en duplicados. El ión $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ se reduce del estado de oxidación (+6) al (+3). Ambas especies absorben energía en la región visible del espectro. Para valores de DQO entre 100 y 900 mg/L se determina el incremento de Cr^{3+} en la zona de los 600 nm. Valores mayores de DQO deben obtenerse por dilución de las muestras (Clesceri, 1998).

Resultados y discusiones

Caracterización del efluente

VOLÚMENES Y CAUDALES DE VUELCO

En la tabla 1 se muestra el caudal de efluente promedio, duración de cada etapa y volúmenes volcados. Los volúmenes volcados en la limpieza de los corrales (C) mostraron ser los mayores y con volumen promedio de 7025 L.

SÓLIDOS TOTALES

Las concentraciones de sólidos totales muestran valores más altos en la etapa de limpieza de los corrales (C) y concentraciones elevadas en la etapa de la limpieza final (D). Sin embargo, cuando se observa la masa total (g) de sólidos vol-

Tabla 1. Caudal de efluente promedio, duración de cada etapa y volúmenes volcados de cada etapa caracterizada

		<i>Limpieza preliminar (A)</i>	<i>Operación de ordeño (B)</i>	<i>Limpieza de corrales (C)</i>	<i>Limpieza final (D)</i>
Caudal de efluente Promedio de cada etapa (L/h)	Turno 1	126	3465	4806	979
	Turno 2	294	3194	4709	492
	Turno 3	178	4499	6008	634
	Turno 4	399	2961	5451	618
	Turno 5	836	2913	4294	289
	Turno 6	415	1607	5303	155
	Promedio	375	2940	5095	528
Tiempo de duración para cada etapa (min)	Turno 1	30	50	50	50
	Turno 2	30	55	40	60
	Turno 3	25	70	45	75
	Turno 4	25	40	45	105
	Turno 5	35	35	40	70
	Turno 6	30	30	60	45
	Promedio	29	47	47	68
Volúmenes promedio (L)		181	2287	3963	594

Fuente: elaboración propia.

cados al afectar las concentraciones por el volumen correspondiente, se puede ver la importancia que cobra la etapa de la operación de ordeño (B). La etapa A continúa no siendo significativa en cuanto a las determinaciones, y la etapa C resulta de mayores valores triplicando la masa de sólidos de la etapa B. Los valores promedio pueden observarse en la tabla 2.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Los sólidos sedimentables se determinaron mediante el procedimiento descrito en “Materiales y métodos” y los valores promedio pueden observarse en la tabla 2. Se percibió un aumento de los sólidos acumulados desde el final de la etapa de operación de ordeño (B) en forma muy marcada y en el comienzo de la etapa de limpieza de los corrales (C). En esta última, con gran capacidad de arrastre,

Tabla 2. **Concentración de sólidos totales (g/L), sólidos sedimentables (mL/L) promedios, DQO (mg O₂/L) promedios, masa de sólidos (g) volcados**

	<i>Limpieza preliminar (A)</i>		<i>Operación de ordeño (B)</i>		<i>Limpieza de corrales (C)</i>		<i>Limpieza final (D)</i>	
	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>
Concentración de sólidos totales (g/L)	0,101	0,112	0,534	0,282	0,428	0,941	0,693	0,497
Sólidos sedimentables (mL/L) promedios	1,67	3,33	14,33	30,67	180,00	121,67	123,33	138,67
DQO (mg O ₂ /L) promedios	203	425	3837	1487	3706	3472	4650	7518
Masa de sólidos (g) volcados	20		932		2713		353	

Fuente: elaboración propia.

se logran volcar la mayor parte de los sólidos sedimentables. En la etapa de limpieza final (D) también se reportan concentraciones de sólidos sedimentables comparables con los de la etapa anterior, pero debemos considerar que el caudal en esta etapa es mucho menor que el anterior. Finalmente, en la etapa de limpieza final (D) se logra una importante remoción de los sólidos en el sistema de canalizaciones.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Los valores de DQO se determinaron mediante el procedimiento descrito en "Materiales y métodos" y los valores promedio pueden observarse en la tabla 2. Las concentraciones de DQO se incrementan a lo largo del ordeño, los valores de la etapa de limpieza final (D) son los mayores, se duplican, en ocasiones, los valores de DQO de la etapa de limpieza de los corrales (C). Las canalizaciones

se limpian cuando termina la actividad de ordeño y los valores de la etapa de limpieza preliminar (A) son bajos, ajustados, a veces, a la normativa de vuelco de efluentes (Res 336/03 DQO < 250 mg O₂/L).

Se encontró que la tendencia de la evolución DQO volcada es similar a los valores de sólidos solubles. En la etapa de operación de ordeño (B) ahora se alcanzaron valores de un poco menos de la mitad de la etapa de limpieza de corrales (C) y, debido al factor de bajo volumen en la etapa de limpieza final (D), se reportaron cantidades totales de materia orgánica de alrededor del 20% de lo obtenido por la etapa (C).

Finalmente, en la etapa de limpieza preliminar (A) se observó que la carga orgánica total resulta ser menor que la etapa de limpieza de corrales (C) en un factor de 250. Además del bajo volumen que aporta esta etapa, también son bajas las

concentraciones, y esto concuerda con el hecho de que los animales aún no han llegado siquiera al corral de espera y el circuito de refrigeración no está aún encendido.

Conclusiones

Existe una amplia bibliografía acerca de la composición de las heces de bovinos para leche. Asimismo, están disponibles programas de computación dirigidos a nutricionistas, en los que, con base en la composición de la alimentación, se calcula en la excreción parámetros como nitrógeno total, fósforo total, etc. Esto determina que la composición de la alimentación es una variable significativa para la relación en la excreción de carbohidratos, proteínas y fibras de diverso tipo, así como diferentes tipos de nutrientes.

Para los fines prácticos se observó el curso de sólidos volátiles y sedimentables, y en el tambo analizado, los efluentes resultan con una mínima incorporación de residuos de alimentación durante el ordeño. Los valores de DQO son relativamente elevados y variables (entre los 10 000 y 6 000 mg O₂/L). Esto se conjuga con un importante volumen de vuelco que genera importantes cargas orgánicas. La bibliografía revisada reporta valores de DQO algo más bajos (5750 mg/L), pero con un desvío estándar de 8230 mg/L, lo que refirma la variabili-

dad en la carga orgánica de este tipo de efluentes (Nosetti, 2002).

El efluente caracterizado responde a las etapas identificadas, y se establecen, claramente, características diferenciales en cada una de ellas. En la etapa de limpieza de los corrales (C) existe el mayor volumen volcado siguiendo la etapa de operación de ordeño (B), aunque considerablemente menor. Las etapas de limpieza preliminar (A) y limpieza final (D) poseen cantidades menores. Se observó, con respecto a las concentraciones de DQO, que la etapa de limpieza final (D) ha registrado los mayores valores. No obstante, al afectar esta por su caudal de vuelco, resulta en una cantidad total que reporta incidencias mucho menores que en las etapas de operación de ordeño (B), y fundamentalmente en la limpieza de corrales (C).

En la etapa de limpieza (C) se le agrega al agua de enfriamiento la descarga mediante una manguera a presión en forma manual con el fin de arrastrar las heces depositadas y los restos de tierra y comida. La fuente de provisión de esta manguera es independiente del circuito de enfriamiento de la leche (refrescado). Finalizada la limpieza de los corrales, se corta el suministro del circuito de enfriamiento ya que la leche se dispone en la cisterna de frío. La limpieza de los corrales, en realidad, comienza antes de que finalice el ordeño, puesto que los últimos

animales están siendo ordeñados cuando comienza esta etapa. En conclusión, este trabajo muestra la primera caracterización detallada de los efluentes de tambo para la zona.

Referencias

Clesceri, L. (1998). *Standard methods for the examinations of water and wastewater* (20th ed.). Washington: American Public Health Association.

Davis, S. (2009). Milking center wastewater management-bark filter mounds. *Michigan Dairy Review*, 14(2), 10-14.

Environmental Protection Agency (EPA). (1973). *Handbook for monitoring industrial wastewater*. Recuperado el 23 de mayo de 2013 de <http://nepis.epa.gov>

Herrero, M. (2008). Consideraciones ambientales de la intensificación de la pro-

ducción animal. *Ecología Austral*, 18(3), 274-289.

Larson, R. A. y Safferman, S. I. (2008). Storm water best management practices that maximize aquifer recharge. *Journal of Green Building*, 3(1), 126-138.

Mountfort, M. (2004). *Wastewater treatment through four stages*. Recuperado el 20 de junio de 2013 de <http://www.dairyco.org.uk>

Nosetti, L. (2002). Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros. *In Vet.*, 4(1), 37-43.

Ravva, S. (2006). Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in wastewater from dairy lagoons. *Journal of Applied Microbiology*, 10(1), 891-902.

Safferman, S. (2008). Milking facility wash water: facts and figures. *Michigan Dairy Review*, 13(1), 1-3.