

# Comparación de tres métodos de separación de sólidos para excretas, en fincas lecheras

## Un paso necesario para el tratamiento y aprovechamiento de las aguas residuales en la producción animal

**Ing. Joaquín Víquez Arias**

Coordinador Programa Agroambiental  
Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L.  
joviquez@dospinos.com

### Introducción

Con referencia al uso y aprovechamiento de las excretas en la producción animal, existen tres implicaciones importantes: productivo, legal y ambiental. El primero está enfocado a la necesidad de utilizar este recurso como fertilizante; no es necesario llevar un control de costos en la finca, para percibir el peso económico de los fertilizantes químicos como insumo en la finca. Por ejemplo de enero a setiembre del 2008, ha habido un incremento en ese rubro de alrededor del 177% en cloruro de potasio (KCl), fosfato diamónico (DAP) 18% N y 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; fosfato monoamónico (MAP) 10% N y 50% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 10-30-10, urea. (Almacenes Agroveterinarios Dos Pinos, 2008).

Sin lugar a duda, las excretas se deben ver como un recurso valioso y no como

un desecho. ¿Será posible devolver los nutrientes de la excreta para que sea aprovechado por nuestros pastos? La respuesta es afirmativa, pero debe hacerse en una forma adecuada, por el contrario la pérdida de nutrientes será mayor (Beegle; Lanyon, y otros, 1999).

Estos mismos autores, afirman que creer que tan solo la excreta de la finca será suficiente para mantener la fertilidad de los suelos, no es cierto; pues la eficiencia con que el pasto la aprovechará, no dependerá exclusivamente de la cantidad de nutrientes de la misma, sino también del manejo que se le dé antes y durante la aplicación al potrero.

Por otro lado, es preciso asegurarse que la práctica utilizada tenga respaldo normativo y que sea amigable con el ambiente. Actualmente la legislación tiene la finalidad de proteger un recurso indispensable para la vida: el agua y su entorno.

De acuerdo con un estudio realizado en el año 2006, titulado "Calidad de agua de las cuencas del Río Tárcoles y el Reventazón", se determinó que las condiciones de las mismas son inaceptables y potencialmente afectará los cuerpos subterráneos, usados en el suministro de agua para consumo humano. El 70% de la población costarricense se asienta sobre estas dos cuencas, las cuales reciben las aguas residuales, sin tratar, de las ciudades de San José, Heredia, Alajuela y Cartago. Esto incluye la industria, los hogares y la agricultura (Calvo; Mora, 2007).

Adicionalmente, otros autores determinaron que en el 73,8% del territorio nacional, los acuíferos tienen una vulnerabilidad alta y por tanto es esencial protegerlos contra la contaminación,

controlando las descargas de efluentes (Foster; Garduño y otros, 2006).

Por los argumentos mencionados anteriormente, el Gobierno de Costa Rica, en 1997, aprobó el decreto N° 33601-MINAE-S (Reglamento de Reuso y Vertido de Aguas Residuales) modificado en el 2007, de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional para el manejo de las aguas residuales, independientemente de su origen, sean vertidas o reusadas. Asimismo, la nueva ley SENASA solicita la aplicación del reglamento como un requisito para optar por el Certificado Veterinario de Operación; que rige para toda la producción animal.

Por lo tanto, resulta necesario aplicar una estrategia integral, que incluya: 1) un aprovechamiento de nuestros recursos, 2) que estén avalados por la legislación y 3) que sean amigables con el ambiente. Este documento detalla los resultados de un estudio realizado por la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. en relación con la separación sólida de aguas residuales en lechería.

### Revisión de literatura

La excreta puede ser considerada como una mezcla de agua, minerales y compuestos orgánicos. Algunos de los minerales (nutrientes) están disueltos en el agua, mientras que otros, se precipitan. La cantidad de agua y sistema de manejo determinará estas tendencias (VanDevender, 2008).

La práctica de la separación sólida consiste, precisamente, en separar la fracción sólida no disuelta, de la fracción sólida disuelta. La cantidad de sólido no disuelto o disuelto para conocer en qué fracción se queda, depende de características propias

de cada finca, como también de la tecnología utilizada.

La separación sólida es una excelente herramienta funcional como un paso adicional (no único) para el tratamiento de las aguas residuales. Por un lado, tiene la ventaja de reducir parámetros que afectan la calidad de agua. Por ejemplo, de acuerdo con Chastain y otros, 1999, mencionado por Jacobson; Lorimor y otros, 2008 comentan que una malla inclinada, puede reducir en 65% la demanda química de oxígeno. Por otra parte Beegle; Lanyon y otros, 1999, afirman que al separar sólidos se facilita la irrigación, mejora la relación carbono:nitrógeno (C:N) lo que resulta en una mayor disponibilidad y aprovechamiento del nitrógeno.

Entre algunos otros beneficios de la separación sólida están: 1) minimiza malos olores, 2) facilita su tratamiento biológico, 3) disminuye el tamaño de bombas para riego del líquido, 4) mejora los sistemas de digestión anaeróbica y 5) reduce problemas de obstrucción en las tuberías y/o bombas (Sheffield; Barrer y Rashash, 2008).

En la actualidad, para estos autores, existen gran cantidad de tipos de separadores de sólidos: extrusor de prensa y el extrusor de tornillo, la malla inclinada y la faja. Igual existe equipo como la centrifuga, el decantador, inclusive la adición de floculantes y polímeros. Además, afirman que aunque eficientes, todos, con excepción de la malla inclinada, requieren de equipos adicionales tales como tanques agitadores, bombas sumergibles, consumo de electricidad, insumos; entre otros. Esto quiere decir, que las tecnologías no son aplicables para un productor promedio en Costa Rica, debido al alto costo de inversión, mantenimiento y operación.

**► En Costa Rica se utilizan, principalmente, 3 tipos de separadores:**



**Figura 1.**  
**Separador por flotación.**

El separador de flotación, extrae el sólido, que por densidad, flota en un tanque que tiene de 2-5 días de retención. Se han estimado inversiones de ₡300.000 a ₡500.000 para una finca promedio.



**Figura 2.**  
**Separador por malla inclinada.**

El separador de malla inclinada (conocido como cascada), muy utilizado en la industria porcina y beneficios de café, extrae el sólido por tamaño de partícula, pasando por una malla inclinada. En el mercado se cotizan en ₡600.000 a ₡1 millón directamente con el fabricante, o bien ₡300.000 hecho caseramente.



**Figura 3**  
**Extrusor**

Separador mecánico (extrusor y/o faja) que por medio de la fuerza mecánica, "exprime" las aguas residuales. Se caracteriza por manejar grandes volúmenes en corto tiempo. Requiere de electricidad y por ser un equipo mecánico, tiende a elevar sus costos de manera importante. Se ha estimado un costo de ₡5 millones a ₡10 millones.

Como se nota, cada separador tiene sus particularidades, tanto a nivel de eficiencia, costo, practicidad y preferencias, por lo que en este ensayo se analizó las diferencias entre ellos, de manera que sirva para escoger el sistema más adecuado y aplicarlo en las fincas.

**Metodología**  
El ensayo evaluó la eficiencia de tres separadores de sólidos

(flotación, cascada y extrusor) para verificar la capacidad de disminuir parámetros de calidad de agua de acuerdo al Decreto N° 33601-MINAE-S, además se analiza cuál es el efecto de esta separación en el funcionamiento de un biodigestor. Por otro lado, se cuantificó la cantidad de sólido que se extrae del separador y una breve descripción de su procesamiento.

El estudio se realizó en tres

fincas: Ciudad Quesada, Alajuela (flotación), San José de la Montaña, Heredia (Extrusor) y Coronado, San José (Cascada). Se tomaron muestras de aguas residuales antes y después del separador de sólidos; adicional se tomó muestras del sólido extraído. Dichas muestras se tomaron cada 15 días, a lo largo de 2 meses (n=4).

Las muestras líquidas fueron analizadas con: Demanda bio-

química de oxígeno (DBO), DQO (demanda química de oxígeno), pH, sólidos sedimentables (SSed), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos totales, nitrógeno total, fosfatos y fibra neutra detergente, mientras que el sólido fue analizado con: humedad y fibra neutra detergente.

### Resultados y Discusión

#### I. Disminución de parámetros de calidad de agua

Todos los separadores disminuyeron de manera importante parámetros de calidad de agua exigidos por la legislación ambiental. El separador de sólidos por flotación y cascada presentaron los mejores índices de eficiencia.

En la cuadro I se presentan los resultados de la entrada y salida del extrusor. Básicamente se observa una disminución en todos los parámetros de calidad de agua, con excepción del DBO.

El extrusor, al igual que los otros separadores, presenta una disminución del nitrógeno total orgánico y fosfato, pero al mismo tiempo un aumento de los mismos sobre la base seca. Esto se puede deber a que la reducción de sólidos no es proporcional a la reducción de nitrógeno y fosfatos, por tanto la mayoría de nitrógeno y fosfatos permanece en la fase líquida y no en la porción sólida.

El pH de este separador, al igual que en los otros no presenta diferencias significativas, manteniéndolo cercano a neutro. A pesar del alto costo y complejidad del extrusor, los índices de eficiencia son más bajos que el separador de sólidos por flotación y cascada. Además que el sólido no presenta ventajas comparativas, tales como humedad más baja o extracción de FDN (Fibra Neutra Detergente) más alta.

Cuadro I. Resultados de análisis de aguas residuales antes y después del extrusor.

Parámetro	Entrada	Salida	% de aumento o disminución
DBO - mg / kg	17 220 ± 9 001	22 360 ± 13 479	30% Aumento
DBO - mg / kg	106 050 ± 8 533	63 050 ± 8303	41% Disminución
pH	7,42 ± 0,54	7,43 ± 0,36	0,10% Aumento
Sólidos suspendidos totales %	10,4 ± 0,49	4,1 ± 0,9	61% Disminución
Sólidos totales - %	11,97 ± 0,91	5,59 ± 1,17	53% Disminución
Nitrógeno total - % Base Seca	2,83 ± 0,4	5,5 ± 0,9	93% Aumento
Nitrógeno total - mg/Kg Base Húmeda	3380 ± 475	2974 ± 198	12% Disminución
Fosfatos - % Base Seca	2,42 ± 1,61	3,5 ± 1,7	46% Aumento
Fosfatos - mg/Kg Base Húmeda	2803 ± 1,691	1838 ± 566	34% Disminución
Fibra neutra detergente - %	9,38 ± 1,12	2,5 ± 3,0	73% Disminución

En el cuadro 2 y 3 aparecen los resultados de aguas residuales antes y después del separador de sólidos por flotación y malla inclinada, respectivamente. Ambos sistemas presentan eficiencias muy similares en todos los parámetros de calidad de agua (DBO, DQO, SST y ST). Ambos sistemas tienen un aumento importante en nitrógeno orgánico total y fosfatos sobre la base seca con respecto a la entrada.

Es sumamente importante considerar, que el separador de sólidos por flotación presenta una pequeña entrada de agua de lluvia, que afecta los resultados de la prueba. Es probable que 20% de la eficiencia del sistema se deba a un efecto de dilución del agua de lluvia.

De acuerdo con el Decreto N° 33601-MINAE-S, ningún

sistema de separación sólida es tan eficiente para obtener parámetros de calidad de agua aceptados por ley, por tanto desde un punto de vista técnico se recomienda, después del separador, el uso de biodigestores o bien lagunas aerobias.

Se presume que la diferencia entre cada separador se debe a un factor de uso de agua. A pesar de que el efecto de dilución por el agua de lavado ya fue tomado en cuenta para la medición de su eficiencia, se supone que el agua juega un papel de ayuda para separar cada partícula de su entorno.

En el caso del separador por flotación, las partículas que estuvieron "amarradas", ahora tienen la libertad de flotar o bien hundirse. El separador de malla inclinada presta

las condiciones para que los sólidos disueltos y suspendidos de tamaño definido por el modelo del separador (MESH), tengan la libertad de ser filtrados, mientras que el sólido más grande se separa.

El extrusor, por otro lado, al no utilizar agua de lavado incrementa la dificultad para la separación de fases, por tanto se ve en la necesidad de aplicar fuerza mecánica.

El agua juega un papel importante, sin embargo, debe ser adicionada sabiamente. El uso excesivo de ese preciado líquido para el lavado, traerá problemas al aumentar las dimensiones de los sistemas de tratamiento, además de diluir los nutrientes en la excreta.

#### 2. Efecto de la separación en el funcionamiento de un biodigestor.

La biodigestión anaeróbica, es una descomposición de la materia orgánica bajo condiciones libres de oxígeno que involucra un consorcio de especies de microorganismos anaeróbicos que transforman materia orgánica en biogás (Wilkie, 2005).

El biodigestor tiene la función de ser un sistema de tratamiento de aguas residuales, que produce biogás como subproducto, además controla los malos olores y mineralización de nutrientes en su sustrato.

En algunos casos, se ha cuestionado la separación sólida para reducir el potencial de producción de biogás, sobre todo para aquellos que les interesa la producción de energía. En otro artículo, se anota que si las fibras lignocelulósicas y hemicelulósicas no fueron degradadas en el rumen, difícilmente serán degrada-



**Cuadro 2.** Resultados de análisis de aguas residuales antes y después del separador de sólidos por flotación.

Parámetro	Entrada	Salida	% de aumento o disminución
DBO - mg / L	8295 ± 4612	1836 ± 1603	78% Disminución
DBO - mg / L	25 775 ± 18 113	4360 ± 1312	83% Disminución
pH	7,18 ± 0,41	7,16 ± 0,14	0,3% Disminución
Sólidos sedimentables - ml/L	255 ± 169	34 ± 57	87% Disminución
SST - mg/L	19 121 ± 13 539	1217 ± 563	94% Disminución
Sólidos totales - mg/L	24 118 ± 12 087	4634 ± 1181	81% Disminución
Nitrógeno total - % BS	2,9 ± 0,8	8,2 ± 0,3	183% Aumento
Nitrógeno total - mg/L BH	665 ± 342	448 ± 128	33% Disminución
Fosfatos - %BS	3,3 ± 1,0	10,2 ± 4,7	209% Aumento
Fosfatos - mg/L BH	712 ± 177	458 ± 115	36% Disminución
Fibra detergente neutra - FDN % BH	1,1 ± 0,7	0,1 ± 0	91% Disminución

**Cuadro 3.** Resultados de análisis de aguas residuales antes y después del separador de sólidos por lámina inclinada (cascada).

Parámetro	Entrada	Salida	% de aumento o disminución
DBO - mg / L	5828 ± 2368	1214 ± 636	79% Disminución
DQO - mg / L	15 793 ± 9799	2665 ± 1324	83% Disminución
pH	7,50 ± 0,13	7,51 ± 0,74	0,1% Aumento
Sólidos sedimentables - ml/L	518 ± 396	2 ± 2	87% Disminución
SST - mg/L	19 121 ± 13 539	1217 ± 563	100% Disminución
Sólidos totales - mg/L	17 648 ± 10 940	2828 ± 1633	84% Disminución
Nitrógeno total - % BS	5,7 ± 3,7	23 ± 19	304% Aumento
Nitrógeno total - mg/L BH	735 ± 241	378 ± 316	49% Disminución
Fosfatos - %BS	2,8 ± 2,6	21 ± 17	650% Aumento
Fosfatos - mg/L BH	216 ± 105	323 ± 314	50% Disminución
Fibra detergente neutra - FDN % BH	1,3 ± 1,0	0,1 ± 0	92% Disminución

**Cuadro 4.** Resultados de análisis del sólido extraído de los diferentes separadores.

Parámetro	Extrusor	Flotación	Malla inclinada
Fibra neutra detergente - %	86,9 ± 4,8	83,2 ± 3,7	77,0 ± 8,1
Humedad - %	76,9 ± 2,3	85,8 ± 0,6	89,8 ± 1,3

das por medio de la digestión anaeróbica o biodigestor (Wilkie, 2005),

En el cuadro 4 se puede observar que el sólido que se extrae del extrusor; flotación y malla inclinada, tiene un contenido de fibra neutra detergente de 86,9%, 83,2% y 77,0% respectivamente. La fibra neutra detergente se puede definir como compuestos lignocelulósicos y hemicelulósicos; por tanto se esperaría que no afecte la producción de biogás.

Adicionalmente, se menciona que la fracción líquida

contiene la mayor cantidad de nutrientes, siendo esto beneficioso para el complejo bacteriano del biodigestor y aprovechamiento del efluente (Zhang and Westerman, 1997, mencionado por Jacobson; Lorimor y otros, 2008 ). Por otro lado, la separación sólida previa al biodigestor; para las tecnologías aplicadas en Costa Rica, reduce problemas al no existir la necesidad de incluir agitación en el sistema, además de problemas de formación de "natas".

### 3. Extracción y procesamiento del material sólido

De acuerdo con la estimación de producción de excreta, considerando el número de animales, el peso vivo del animal, el tiempo de permanencia en las instalaciones y 8% como constante de excreción de acuerdo a su peso vivo, se estimó la extracción de sólido fibroso porcentualmente volumen/volumen (v/v) de cada separador en relación a la producción de excreta.

Debido al que el sólido que se extrae aún tiene características de mejorador de suelo, por su contenido de materia orgánica, es recomendable

transformar este material en abono orgánico, ya sea con lombrices (*Eisenia Foetida*), o bien el sistema de compostaje (colocación del material en pilas con volteos ocasionales para control de temperatura). Ver figura 4.

Adicional, la separación sólida no afecta el funcionamiento del biodigestor ni disminuye la calidad nutritiva del efluente que sale del separador. Este argumento se apoya también en que la cantidad de sólidos digeribles y nutrientes son representados por partículas que su tamaño son inferiores

**Cuadro 5.** Extracción de sólido en base a la estimación de producción de excreta.

Finca	# de animales	Peso vivo (kg)	Horas Establo	Producción excreta (kg)	Sólido separado (kg)	Separador	Extracción %
San José de la Montaña	96	500	24	3900	2300	Extrusor	59%
	8	80	24				
Ciudad Quesada	50	350	1	455	230	Flotación	51%
	40	350					
Coronado	31	425	5	220	58	Malla inclinada	26%

**Figura 4.** Modelo de producción de abono por medio de lombrices (1) y compostaje (2).



al tamaño de la malla y por lo tanto no existe una reducción nutritiva en el líquido, pero sí una reducción en sólidos no digeribles (Sheffield; Barrer y Rashash, 2008).

**Conclusiones**

- Un sistema íntegro que vele por el aprovechamiento de los recursos, el cumplimiento de la legislación ambiental y evite la contaminación de fuentes de aguas, es una posibilidad accesible a todo productor y la separación sólida es un paso necesario, pero **no único**.
- El separador por flotación y cascada, con un costo de inversión menor; presentan mejores índices de eficiencia que el extrusor.
- El extrusor y el separador por flotación, extraen porcentualmente la misma cantidad de sólido, además de diferencias en la humedad y FDN muy bajas.
- A pesar de la separación sólida, existe un aumento

en la concentración de nitrógeno orgánico total y fosfato sobre la base seca, entre el efluente y el afluente del separador; la práctica agroambiental no afecta significativamente la calidad nutricional de los líquidos.

- El agua juega un papel importante en la separación sólida, sin embargo su uso racional debe ser una práctica en toda finca; el exceso de agua de lavado promueve mayores inversiones en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- La separación sólida no afecta el funcionamiento de un biodigestor; tampoco la producción de biogás. Adicional se evitan problemas de tapones en las tuberías, necesidad de incurrir en sistemas de agitación, además de formación de nata.
- Cada finca es un modelo muy particular; por lo que se recomienda bus-

car asesoría técnica para decidir qué tipo de separador implementar. No obstante, el separador por flotación y malla inclinada aplican para toda finca.

- El extrusor solo aplica para fincas con gran producción de excretas (superior a 4m<sup>3</sup> por día), poco espacio para el manejo de remanentes y poco acceso a agua para la limpieza de los corrales.
- Ningún separador logró llegar a parámetros exigidos por la legislación ambiental. Por ello, es necesario el uso de biodigestores o bien lagunas aerobias/facultativa para dar tratamiento al líquido salido del separador.

**Bibliografía**

Beegle, D.; Lanyon, L. y otros. 1999. Field application of manure (en línea). Pennsylvania EEUU, Pennsylvania Department of Environmental Protection. Consultado 22 oct. 2008. Disponible en [http://panutrientmgmt.cas.psu.edu/pdf/rp\\_field\\_app\\_manure.pdf](http://panutrientmgmt.cas.psu.edu/pdf/rp_field_app_manure.pdf)

Calvo, G.; Mora, J. 2006. Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del Río Tárcoles y el Reventazón (en línea). San José, Costa Rica, ITCR. Consultado 22 oct. 2008. Disponible en <http://www.itcrac.cr/informatec/2006/Setiembre/n31.htm>

Calvo, G.; Mora, J. 2007. Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón. San José, Costa Rica, Tecnología en Marcha. Consultado 22 oct. 2008. Disponible en [http://www.itcrac.cr/publicaciones/tecnologia\\_marcha/pdf/tecnologia\\_marcha\\_20-2/20-2%2039.pdf](http://www.itcrac.cr/publicaciones/tecnologia_marcha/pdf/tecnologia_marcha_20-2/20-2%2039.pdf)

Foster, S.; Garduño, H. y otros. 2006. Protección de la calidad del agua subterránea: definición de estrategias y establecimiento de prioridades (en línea). Washington, DC, EEUU. Consultado 22 oct. 2008. Disponible en [http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1210186362590/GWM\\_Briefing\\_8\\_sp.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1210186362590/GWM_Briefing_8_sp.pdf)

Jacobson, L.; Lorimor, J. y otros. 2008. Emission control strategies for manure storage facilities: liquid/solid separation (en línea). The Livestock and Poultry Environmental Stewardship. Consultado 12 oct. 2008. Disponible en [http://www.lpes.org/Lessons/Lesson43/43\\_3\\_Solid\\_Liquid\\_Separation.pdf](http://www.lpes.org/Lessons/Lesson43/43_3_Solid_Liquid_Separation.pdf)

Sheffield, R.; Barker, J.; Rashash, D. 2008. Solids separation of animal manure (en línea). North Carolina, EEUU, NC State. Consultado 8 oct. 2008. Disponible en <http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/manure/technologies/solids.pdf>

VanDevender, K. 2008. Solid-liquid manure separation (en línea). Arkansas, EEUU, University of Arkansas. Consultado 2 oct. 2008. Disponible en [http://www.extension.org/pages/Solid-Liquid\\_Manure\\_Separation](http://www.extension.org/pages/Solid-Liquid_Manure_Separation)

Willkie, A. 2005. Anaerobic digestion of dairy manure: design and process considerations. Florida, EEUU, University of Florida. 11 p.