



Alternativa eficiente para remover nitrógeno de aguas residuales en granjas porcinas



Ing. Joaquín A. Víquez Arias

VIOGAZ S.A. (www.viogaz.com)

Especialistas en tecnología de biogás

jviquez@viogaz.com

Oficina: 2265-3374

Introducción

Las granjas porcinas se caracterizan por un método de producción intensivo, bajo el módulo de estabulación completa. Esta estabulación implica la acumulación del 100% de las excretas generadas. En la mayoría de los casos, estas excretas son lavadas, utilizando

agua como el “vehículo” para movilizarlas fuera de las instalaciones (Cheng y otros, 2001). De dicha acción, se generan aguas residuales, básicamente una dilución de las excretas de cerdo. En el Cuadro 1, se presenta un resumen de análisis de aguas residuales de granjas porcinas.

Según las regulaciones de cada región, se requiere que estas aguas residuales sean manejadas adecuadamente. Algunos países, como por ejemplo Estados Unidos, permiten aplicar estas aguas en crudo, en suelos agrícolas, gracias a que tienen un modelo de monitoreo temporal.

En otros países como Costa Rica, para efectos de vertido, se solicita realizar un tratamiento de las aguas residuales y cumplir con una serie de parámetros.

En Costa Rica, las granjas porcinas en su mayoría, han optado por el tratamiento de las aguas para el cumplimiento del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (Decreto N° 33601-MINAE-S). Este sistema predomina, usualmente, por la falta de terreno disponible para un reuso tipo irrigación en suelo agrícola, además del componente cultural. Esto también se ve en otros países subdesa-

rollados. Las tecnologías predominantes para realizar estos tratamientos son del tipo lagunar (Crites y otros, 1998), esencialmente una serie de lagunas con profundidades variadas (Figura 1).



Figura 1. Laguna de tratamiento en granja porcina (VIOGAZ, 2011).

Se ha determinado que estos sistemas lagunares, pueden verse limitados en términos de eficiencia, para lograr cumplir con algunos parámetros de calidad de aguas exigidos por la legislación ambiental; específicamente nitrógeno y fósforo. No es de extrañarse, pues los sistemas lagunares, históricamente y desde un punto de vista técnico/científico, han sido empleados únicamente para la remoción de materia orgánica (Crites y otros, 1998; Rittmann y otros, 2001 y Tchobanoglous y otros, 2002).

La legislación costarricense solicita, actualmente, que para poder verter estas aguas a un cuerpo de agua receptor, el límite máximo permisible de nitrógeno total (común y erradamente confundido con "nitrato"), es de 50 mg/L y 25 mg/L de

fosfato (fracción soluble de fósforo total (Tchobanoglous y otros, 2002). Aunque el autor desconoce específicamente las bases técnicas utilizadas para definir estos parámetros, en otras regiones del mundo se basan en el concepto de que cualquier fuente de agua puede ser potencialmente para consumo humano y, por tanto, el vertido debe asemejarse a parámetros similares.

En todo caso, son claros los efectos negativos, no solo ambientales (eutrofización y crecimiento excesivo de algas, entre otros) que se pueden causar al verter aguas residuales con altos contenidos de nutrientes, en un cuerpo de agua; sino también humanos, como patologías (metahemoglobinemia, que es una enfermedad causada por el consumo de aguas con nitratos, especialmente a bebés). Estos ejemplos respaldan la importancia de una legislación para vertido de aguas residuales.

Desde el punto de vista ambiental, el impacto que puede generar este vertido, dependerá, obviamente, de factores como el caudal del río, la concentración de oxígeno previo al punto de vertido, la cantidad de vertido y la capacidad del río, en términos de desoxigenación y reaireación (según velocidad y pedregosidad) (McCray, 2011).

El presente artículo pretende realizar un acercamiento al tema de la remoción del nitrógeno en aguas residuales, en la indus-

tria porcina. Es claro que los sistemas actuales de tratamiento, usando lagunas, ya no son efectivos para cumplir con los parámetros exigidos por la legislación vigente. La intención es explicar las características del nitrógeno como elemento, así como uno de los procesos más antiguos y efectivos para removerlo de aguas residuales, y proponer brevemente su aplicación.

Nitrógeno

El nitrógeno es uno de los elementos de la naturaleza, tanto en la agricultura como en aguas residuales (para crecimiento de microorganismos), de mayor importancia, junto con el fósforo (Crites y otros, 1998). El nitrógeno se puede encontrar en las aguas residuales en tres formas predominantes: **1) Nitrógeno orgánico**, este incluye proteínas, aminoácidos, aminos, entre otros. Puede ser soluble o insoluble en el agua. **2) Nitrógeno amoniacal** ($\text{NH}_3 \leftrightarrow \text{NH}_4^+$) que, según el pH, puede estar en forma de amoniaco (generador de malos olores) o como amonio (soluble en agua). Este proviene de la descomposición del nitrógeno orgánico, y **3) Nitrato** (NO_3^-), que básicamente es la forma de nitrógeno completamente oxidada, en otras palabras, es cuando el amonio se oxida a nitrato (Tchobanoglous y otros, 2002). En el Cuadro 1, se puede apreciar cómo, según lo anterior, existen aguas residuales de granjas porcinas que no contienen nitratos, pues no han sido ex-

Cuadro 1. Caracterización de las aguas residuales de varias granjas porcinas

Parámetro	Fuente					
	1).	2).*	3).	4).	5).	6). **
Nitrógeno total kjeldahl; NTK (mg/L)	285	-	4.529	1.840	-	1.120
Amonio; NH_4N (mg/L)	221	4.490	-	790	-	-
Nitrato; NO_3^- (mg/L)	0	-	-	-	-	-
Fósforo total; PT (mg/L)	67	-	2.600	1.070	-	230
Ortho-P; PO_4^+ (mg/L)	49	1.950	-	895	-	232
Demanda química de oxígeno; DQO (mg/L)	697	44.000	-	-	-	18.510
Demanda bioquímica de oxígeno; DBO (mg/L)	-	-	90.280	10.000	21.800	-
pH	7,3	7,5	-	8,5	6,2	-
Sólidos suspendidos; SS (mg/L)	364	30.140	917	10.050	34.800	5.660

* Representa boñiga cruda; sin dilución por efecto de agua de lavado.

** Datos de proyectos de consultoría, no publicados. Fuente: ¹⁾ (Cheng y otros, 2001); ²⁾ (Doyle y otros, 1987)*; ³⁾ (Kim y otros, 2004); ⁴⁾ (Osada y otros, 1991); ⁵⁾ (Zhang, 2006); 6) VIOGAZ**

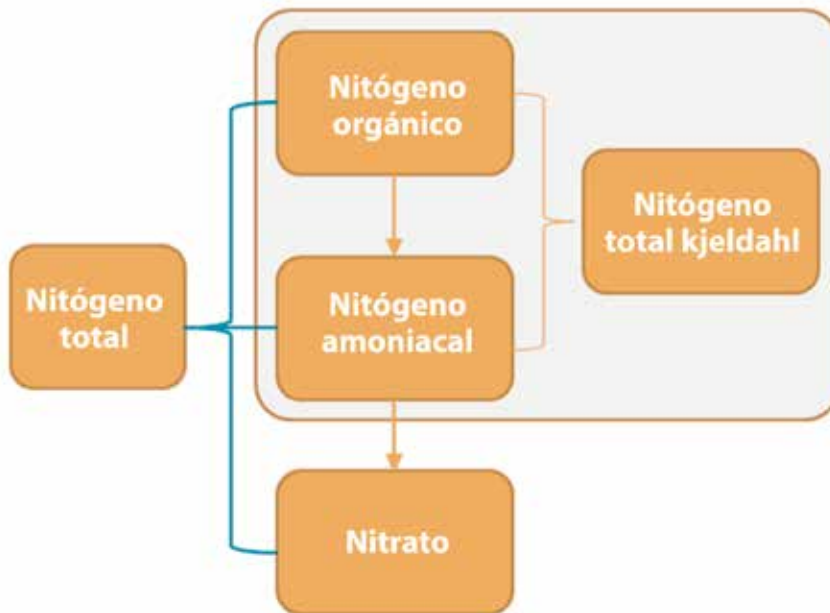


Figura 2. Formas de Nitrógeno (Crites y otros, 1998).

puestas a ningún ambiente de oxidación. La explicación anterior es importante para efectos de interpretar un análisis de aguas residuales. Por ejemplo, el nitrógeno total equivale a la suma del nitrógeno orgánico, del amoniacal y del nitrato. Viéndolo desde otra perspectiva, la legislación costarricense pide que la suma total de las formas de nitrógeno, no exceda a los 50 mg/L. La comprensión de lo anterior es clave, pues si el sistema de tratamiento es bueno, únicamente, para convertir nitrógeno de una forma a otra; pero es incapaz de eliminar nitrógeno del todo, difícilmente se logrará cumplir con la legislación.

El nitrógeno total kjeldahl es básicamente la suma del nitrógeno orgánico y del amoniacal, el cual representa las formas de nitrógeno que pueden ser eventualmente oxidadas. En la Figura 2, se resumen las formas de nitrógeno y su interpretación según Crites y otros, 1998.

Alternativas para la remoción de nitrógeno

Las principales alternativas para la remoción del nitrógeno son básicamente

por la asimilación de nitrógeno (consumo del nitrógeno por parte de microorganismos y/o plantas), y por medio del proceso de nitrificación/desnitrificación (Crites y otros, 1998). Otras alternativas, aun bajo la mira de investigación, pero que han llamado mucho el interés, son: la precipitación de nitrógeno y fósforo para formar un mineral llamado estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) y procesos como AN-NAMO \dot{X} (Lee y otros, 2003; Rittmann y otros, 2001).

La formación de estruvita es un fenómeno que se da actualmente en algunas granjas porcinas, formando una "costra" en las tuberías de conducción de aguas residuales (Figura 3).



Figura 3. Estruvita en tuberías. (VIOGAZ, 2011).

Dada la popularidad y validación en campo del proceso de remoción del nitrógeno, llamado nitrificación y desnitrificación, este artículo lo enfoca como una alternativa viable para que las granjas porcinas puedan eventualmente cumplir con los parámetros de legislación ambiental costarricense.

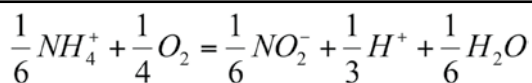
Nitrificación/desnitrificación

El proceso de nitrificación/desnitrificación sirve para la remoción efectiva del nitrógeno en aguas residuales. Consiste en dos pasos claves: 1) la nitrificación, en que se busca oxidar la mayor parte del nitrógeno a nitrato y 2) desnitrificación. Esta reacción convierte el nitrato en nitrógeno elemental, el cual al ser un gas se libera al ambiente, eliminándose así el nitrógeno del agua residual. Cabe recalcar que el nitrógeno gaseoso no es un contaminante del aire o de la atmósfera, pues, en realidad, el aire ya está compuesto de alrededor de un 78% de nitrógeno elemental (Tchobanoglous y otros, 2002).

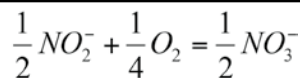
A continuación se explican los procesos de nitrificación y de desnitrificación, así como su aplicabilidad en el campo, utilizando estudios de caso e investigación aplicada.

1. Nitrificación

El proceso de nitrificación es el primer paso para la remoción del nitrógeno. El nitrógeno amoniacal, producido por la descomposición del nitrógeno orgánico, es convertido a nitrito y rápidamente a nitrato (ver ecuaciones Ec.1. y Ec.2.) (Crites y otros, 1998). Aunque actualmente se han identificado nuevos microorganismos responsables, se reconoce que este proceso, en su mayoría, es gracias a la actividad microbiológica del género *Nitrosoma* (encargado de convertir amonio a nitrito) y de *Nitrobacter* y *Nitrospira* (encargado de convertir nitrito a nitrato) (Crites y otros 1998; Rittmann y otros, 2001).



Ec. 1



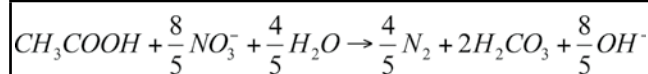
Ec. 2

La importancia de mencionar estos microorganismos, es porque en efecto ambos son aeróbicos obligados, lo que significa que necesitan condiciones estrictamente aeróbicas, con concentraciones de oxígeno superior o igual a 1 mg/L. (Crites y otros, 1998). Según cálculos estequiométricos, se estima que para cada gramo de NH_4^+ a degradar a nitrato, se requieren 4,14 g de oxígeno (Rittmann y otros, 2001). En otras palabras, considerando que el agua residual de una granja porcina completamente amonificada contiene 1 g de NH_4^+ (Cuadro 1), esto implica que se necesitan cerca de 16 L¹ de aire, disueltos en agua, para lograr completar el proceso de nitrificación. Estas condiciones son poco probables en lagunas aeróbicas y/o de oxidación, situación que explica el por qué el nitrógeno no se logra remover efectivamente en este tipo de sistemas.

2. Desnitrificación

El proceso de desnitrificación es el paso final para remover nitrógeno. El nitrato generado en el proceso de nitrificación es desnitrificado, convirtiéndolo así en nitrógeno elemental (un gas). Este gas es inodoro (no genera malos olores) y no contaminante (Rittmann y otros, 2001; Osada y otros, 1991; Cheng y otros, 2001).

Este proceso, a diferencia de la nitrificación, es liderado por un amplio grupo de bacterias heterotróficas y autotróficas, que pueden cambiar entre respiración con oxígeno a respiración con nitrato (Rittmann y otros, 2001). El proceso de desnitrificación es mostrado en la ecuación 3, en la que claramente se muestra la conversión de nitrato a nitrógeno elemental.



Ec. 3

Este proceso para remover nitrógeno ha sido investigado, utilizando aguas residuales de granjas porcinas, por muchos investigadores y granjas alrededor del mundo. La aplicación de este proceso es relativamente sencilla. Es necesario generar primero las condiciones idóneas para que la nitrificación ocurra (Cheng y otros, 2001; Kim y otros, 2004; Osada y otros, 1991).

Los factores ambientales más importantes para el proceso de nitrificación son:

- 1. pH:** se sugiere que el pH del agua residual se mantenga entre 7,5 a 8,0 (Tchobanoglous y otros, 2002; Crites y otros, 1998).
- 2. Oxígeno:** la concentración de oxígeno en el agua residual debe mantenerse mayor a 1 mg/L (Crites y otros, 1998).
- 3. Alcalinidad:** dado que el proceso de nitrificación produce H^+ (esto significa "ácidos"), la alcalinidad es la capacidad buffer o bien la capacidad del agua residual a que no caiga el pH. Se debe garantizar 7,05 g $CaCO_3/gNH_4^+$ (Rittmann y otros, 2001).

En términos prácticos, es necesario primero realizar una filtración o separación de sólidos gruesos (0,5 mm mínimo) de las aguas residuales de la granja. Seguidamente, las aguas podrían ingresar a un tanque en el que previamente se ha instalado un sistema de difusión de aire, preferiblemente de burbuja fina. Este sistema de aire proveerá el oxígeno necesario para que todo el nitrógeno se nitrifique (o por lo menos la gran mayoría). Se recomienda que el oxígeno disuelto alcance concentraciones mínimas 1 mg/L (Rittmann y otros, 2001). El tamaño del tanque variará según el caudal (m^3/d) de aguas residuales de la granja. Este estudio logró con un tiempo de retención hidráulico de 3 días, una nitrificación efectiva y utilizó un tiempo de 20 días de retención celular (Osada y otros, 1991; Cheng y otros, 2001).

Percepciones erróneas acerca de remoción de nitrógeno en aguas residuales de granjas porcinas:

"Necesito incrementar el tamaño de mis lagunas o hacer mas lagunas para mejorar mi eficiencia de remoción de nitrógeno".

R/ Las lagunas son sumamente ineficientes para remover nitrógeno. No es necesario mas tamaño lo que se requiere es lograr que se den los procesos de nitrificación y desnitrificación para lograr una remoción efectiva.

"Las lagunas al remover DBO y DQO aumentan la concentración de nitrógeno".

R/ La remoción de DBO o DQO no tiene ningún impacto en la concentración de nitrógeno pues el volumen de las aguas residuales es el mismo. Esto se puede comprobar fácilmente viendo un análisis de aguas residuales crudas versus hacia lo largo de las lagunas.

"Los biodigestores son excelente para remover nitrógeno".

R/ Los biodigestores son excelente para remover DBO y DQO pero lastimosamente no remueven nitrógeno solamente lo degradan de forma orgánica a amoniacal.

(1) Se asume: 1 mol $O_2 = 32$ g; 22,4 L/mol; aire contiene 18% O_2 y 100% transferencia oxígeno al agua (Tchobanoglous y otros, 2002).

Algo importante de la nitrificación es que según la ecuación 1, este proceso genera H^+ , lo cual puede disminuir el pH del agua residual, inhibiendo los mismos microorganismos (Cheng y otros, 2001). Por tanto, es importante considerar la necesidad de agregar alcalinidad o buffer para mantener el pH por encima de 7,5.

Otro punto elemental es que al iniciar el proceso de nitrificación, por primera vez, se debe considerar que las bacterias nitrificadoras son, por naturaleza, lentas en el crecimiento (Rittmann y otros, 2001), lo que implicará que no se verán resultados inmediatos. Una forma de contrarrestar esto, es consiguiendo lodos de una planta de tratamiento de lodos activados, que preferiblemente tenga el proceso de nitrificación/desnitrificación, en operación.

Una vez alcanzada la nitrificación, se debe iniciar la desnitrificación, la cual básicamente tiene dos factores ambientales de importancia:

1. Se debe eliminar el suministro de oxígeno (por debajo de 1 mg/L). Esto llevará a que algunos microorganismos, al ver la ausencia de oxígeno, utilicen el nitrato para su respiración, convirtiéndolo en N_2 . Una forma muy viable para eliminarlo es que, luego del tanque de aireación, el agua residual ingrese a un digestor anaeróbico (biodigestor).
2. Según la ecuación 3, CH_3COOH representa "comida". En palabras aplicables, después de la nitrificación, el agua residual debe ingresar a una zona anaeróbica (o anoxia); con un buen abastecimiento de "comida" o bien de materia orgánica, ya que, a pesar de todo, los microorganismos encargados de desnitrificar requieren alimento.

Todo este proceso, se resume en la Figura 4. Se muestra el tanque aireador, en el que las aguas residuales permanecen por un tiempo máximo de tres días con aireación continua para garantizar la nitrificación. Luego, ingresan al biodigestor para seguir con la desnitrificación, lográndose, al mismo tiempo, generar biogás para su aprovechamiento en procesos productivos.

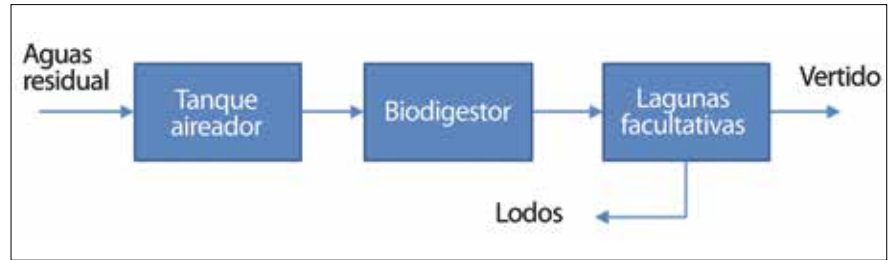


Figura 4. Diagrama para la remoción de nitrógeno en granjas porcinas

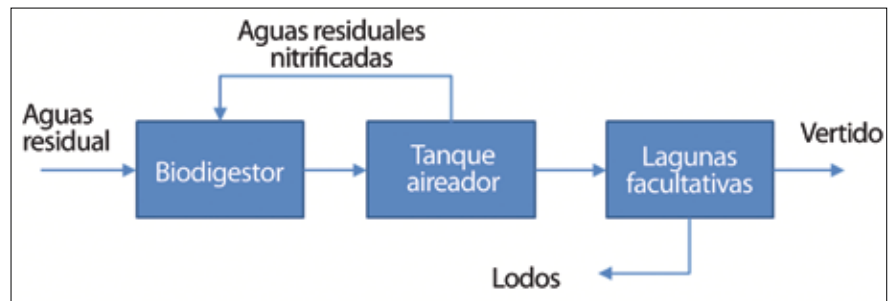


Figura 5. Diagrama II para la remoción de nitrógeno en granjas porcinas

Dado que muchas granjas porcinas, ya tienen infraestructura de sistemas lagunares, el efluente del digestor se puede verter a las lagunas (preferible facultativas o aeróbicas con profundidades no mayores a 2 m) para finalizar el tratamiento de aguas residuales.

En la Figura 5, se muestra otra alternativa, mediante la cual se obtienen los mismos resultados.

Primero, el agua residual ingresa al digestor anaeróbico (biodigestor) para

hacer una degradación efectiva del nitrógeno y de la materia orgánica, y luego ingresa a un tanque aireador (o laguna con aireadores flotantes) para la nitrificación. Después, se sugiere un retorno de aproximadamente el 50% de las aguas nuevamente hacia el digestor, por medio de una bomba. Aquí se busca que el nitrógeno que fue nitrificado en la zona aeróbica, sea desnitrificado dentro del digestor. Al igual que en el modelo anterior, los efluentes son vertidos al sistema lagunar existente.

Conclusiones

Existe un gran interés y preocupación a nivel ambiental y social, acerca de la contaminación de fuentes de agua, especialmente por aguas residuales con altos contenidos de nitrógeno.

Los sistemas lagunares instalados actualmente en muchas granjas porcinas, por falta de mantenimiento, mal diseño o uso; pero, fundamentalmente, por la incapacidad, en sí, de la tecnología de lagunas, en su mayoría, no logran cumplir con los parámetros exigidos por ley, en términos de nitrógeno.

El proceso de nitrificación y desnitrificación ha sido utilizado durante décadas y ha sido validado en campo, por lo que representa una alternativa potencialmente viable para productores de cerdo.

El proceso mencionado en este documento, tiene la capacidad de remover nitrógeno por debajo de las regulaciones actuales, o remociones de 75% del nitrógeno total.

Referencias:

Cheng, J.; Liu, B. 2001. Nitrification/denitrification in intermittent aeration process for swine wastewater treatment. *Journal of Environmental Engineering* 127(8): 705-711.

Crites, R.W.; Tchobanoglous, G. 1998. Small and decentralized wastewater management systems. Boston, WCB/McGraw-Hill. Print.

Doyle, Y.; Noüe, J. de la. 1987. Aerobic treatment of swine manure: physico-chemical aspects. *Biological Wastes* 22(3): 187-208.

Hemond, H.F.; Fechner-Levy, E.J. 2000. Chemical fate and transport in the environment. San Diego, Academic Press. Print.

Kim, J. H.; Chen, M.; Kishida, N.; Sudo, R. 2004. Integrated real-time control strategy for nitrogen removal in swine wastewater treatment using sequencing batch reactors. *Water Research* 38(14): 3340-3348.

Lee, S.I.; Weon, S. Y.; Lee, C. W.; Koopman, B. 2003. Removal of nitrogen and

phosphate from wastewater by addition of bittern. *Chemosphere* 51(4): 265-271.

Osada, T.; Haga, K.; Harada, Y. 1991. Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process. *Water Research* 25(11): 1377-1388.

Rittmann, B. E.; McCarty, P.L. 2001. Environmental biotechnology: principles and applications. Boston, McGraw-Hill. Print.

Tchobanoglous, G.; Burton, F.L.; Stensel, H.D. 2002. Wastewater engineering: treatment and reuse. Dubuque, IA, McGraw-Hill. Print.

Zhang, Z.; Zhu, J. 2006. Characteristics of solids, BOD₅ and VFAs in liquid swine manure treated by short-term low-intensity aeration for long-term storage. *Bioresource Technology* 97(1): 140-149.

El resto de bibliografía mencionada, al alcance del autor.

VOGAZ
 ENERGÍA RENOVABLE

instala uno de los digestores más grandes de Costa Rica con capacidad de 2.600 m³...



Servicios:

Equipo de ingenieros (as) especializados en optimizar y mejorar los sistemas de tratamiento de aguas residuales para la industria porcina, lechera, mataderos, queseras, procesamiento de alimentos y otros.

- Permisos: de vertido, Memorias de cálculo, Manuales de operación y mantenimiento, Permisos de ubicación y aprobación de STAR, y otros.
- Regencia ambiental
- Estudio de demandas ambientales y soluciones técnicas efectivas y resoluciones reales.
- Diseño, instalación y operación de biodigestores
- Venta de biodigestores rurales pequeños, medianos y grandes. Fabricados a partir de PVC; excelentes acabados y servicio completo de asesoría para instalación y operación.

Contáctenos 

Telefax: (506) 2265.3374 / Email: info@viogaz.com - www.viogaz.com