

IDENTIFICACION DE EMISIONES DIRECTAS E INDIRECTAS DE GEI EN EL SECTOR TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES: BASES PARA LA FORMULACION DE PROYECTOS MDL EN PTAR

Meneses, Alexander^{1,2} & Hernández, Eudes E.¹

¹. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB
Bucaramanga, Colombia, Cra. 23 No. 27-63

². Departamento de Biología-Química, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia,
Campus Universitario km. 1 vía Bucaramanga

RESUMEN

La planta de tratamiento de aguas residuales Río Frío, localizada en Bucaramanga (Colombia), consiste de tres digestores anaerobios UASB seguidos de lagunas facultativas y facilidades para el tratamiento de lodos. En las condiciones actuales dos fuentes de Gases Efecto Invernadero (GEI) pueden ser claramente identificadas:

1. El biogás (CH₄) generado durante la digestión anaerobia, el cual es quemado parcialmente y las emisiones provenientes de la operación de las lagunas facultativas.
2. El óxido nítrico resultante de la transformación del nitrógeno amoniacal y orgánico contenido en el efluente luego de su disposición final.

Se ha propuesto un Proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para contribuir con la reducción de emisiones tipo GEI en esta planta de tratamiento de aguas, el cual tratará de abatir cerca de 30 kton CO₂ eq/año, representadas en CH₄ y N₂O, además de mejorar la calidad del efluente final de la planta.

Sin el proyecto las emisiones de CH₄ y N₂O no solo continuarían, sino que aumentarían con el incremento gradual de capacidad. Adicionalmente, sin las ventas de carbono no habría incentivo para la recolección y combustión del biogás y no habría incentivo para la generación de energía necesaria para la modificación del régimen de operación de las lagunas, de facultativa a aireadas, que induce la reducción de N₂O.

La medición y el monitoreo de las reducciones de GEI, en particular las de

N₂O representan un enfoque innovador para mejorar el factor de cálculo de las emisiones de N₂O de aguas ricas en nitrógeno y en plantas de tratamiento de aguas residuales, mejorando el potencial de replicación del MDL.

Palabras Clave: Mecanismo de Desarrollo Limpio, Efecto Invernadero, Ciclo del Nitrógeno, Tratamiento anaerobio de aguas, Protocolo de Kyoto.

ABSTRACT

The existing secondary wastewater treatment plant of Rio Frio, located in Bucaramanga (Colombia), consists of three anaerobic digestors of type UASB followed by facultative lagoons and sludge disposal facilities. Under current conditions, two sources of greenhouse gas (GHG) emissions are

clearly identified:

1. The biogas (CH₄) generated during the anaerobic digestion, which is partially flared in improvised flaring and the biogas emissions coming on facultative lagoons operation.
2. The nitrous oxide N₂O released as a result of reductions in the ammonia and organic nitrogen concentrations in the final effluent.

A CDM (Clean Development Mechanism) project has been proposed to contribute to reductions in greenhouse gas (GHG) emissions associated to the Rio Frio anaerobic wastewater treatment plant, that will result in abatements of CH₄ and N₂O emissions of about 30 kton CO₂ eq/year and in improved effluent quality from the plant.

Without the project current emissions of CH₄ and N₂O will continue and would gradually increase as the capacity of the plant is upgraded. Further without carbon revenues there would be no incentive for the collection and combustion of the biogas and there would be no incentive for the generation of energy for modification of the operational regime of the lagoons, from facultative to aerated inducing reductions in N₂O emissions.

The measurement and monitoring of GHG reductions, particularly those related to N₂O, represent an innovative approach to improve the factor to account for N₂O emissions from nitrogen-enriched rivers and municipal wastewater treatment plants, increasing the potential for replication of CDM methodology.

KEYWORDS

Clean Development Mechanism, greenhouse gas, Nitrogen cycle, anaerobic wastewater treatment, Kyoto Protocol.

1. INTRODUCCIÓN

Con la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto, la comunidad internacional inicia la aplicación de las políticas globales para el control y reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que amenazan el equilibrio térmico del planeta [1-3]. Los países del anexo B del protocolo y de forma particular los estados miembros de la Unión Europea, se han propuesto la meta de reducir hasta en un 15% las concentraciones medidas en la atmósfera en 1990, de los tres principales GEI: CO₂ CH₄ y N₂O [2].

Para facilitar el cumplimiento de los objetivos de reducción y disminuir los impactos económicos y sociales, el Protocolo establece algunos mecanismos de flexibilidad como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que tiene como objetivo promover el desarrollo sostenible en países de economía emergente, a través de la formulación y ejecución de proyectos de captura o reducción de GEI, en sectores industriales y de servicios estratégicos, donde se genere adicionalidad ambiental, social y económica, por la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CREs) [1, 2, 5].

La presente comunicación comparte algunos aspectos fundamentales que han servido de base para la formulación del Proyecto MDL de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Río Frío, haciendo énfasis en la identificación y cuantificación de las emisiones de GEI, representadas por el metano

(CH₄) presente en el biogás producido en las etapas anaerobias y facultativas del esquema de tratamiento de aguas y por las emisiones de óxido nitroso (N₂O) asociadas al vertimiento final rico en nitrógeno amoniacal y orgánico.

2. METODOLOGÍA: IDENTIFICACION DE EMISIONES TIPO GEI

Río Frío fue la primera PTAR a gran escala en el mundo, en utilizar un tratamiento primario tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Adicionalmente, esta planta utiliza lagunas facultativas como tratamiento secundario [4]. Bajo este esquema de proceso se produce la emisión directa e indirecta de varios GEI. En primer lugar se produce una importante cantidad de biogás, constituido mayoritariamente de metano, gas que tiene un GWP (Global Warming Power) 23 veces superior al del dióxido de carbono (CO₂). El segundo aporte de GEI, proviene de la formación de emisiones indirectas de N₂O asociadas al vertimiento final, dotado con una carga de nitrógeno amoniacal (NH₄⁺) cercana a los 40 mg/litro.

En conjunto, el metano producido y las emisiones asociadas de N₂O en la PTAR Río Frío, representan cerca del 18% de los GEI atribuibles a sistemas de tratamiento anaerobios y facultativos de aguas domésticas en Colombia [5], argumento que ha servido de soporte para la formulación del proyecto MDL de la PTAR Río Frío, que tiene como objetivo el aprovechamiento del metano y la reducción de los niveles de nitrógeno amoniacal en el vertimiento

final hacia el Río Frío. Este proyecto hace parte del portafolio de Proyectos MDL presentados por el Gobierno Colombiano ante la Junta Directiva del Protocolo de Kyoto a finales del año 2003.

2.1 CH₄ y CO₂ Generados durante el proceso de tratamiento.

En una PTAR de tipo anaerobio, el biogás es el principal subproducto del proceso, conformado principalmente por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y trazas de moléculas malodorantes como el ácido sulfhídrico (H₂S). El metano contenido en el biogás (> 70%) es una fuente de energía renovable, pero también puede ser una fuente importante de contaminación, debido a su significativa contribución al efecto invernadero [2 - 3].

En la PTAR Río Frío, la mayor parte del metano se extrae de las campanas de los reactores UASB para ser flameado, obteniéndose CO₂ como producto principal de su combustión. Este CO₂ no es considerado un GEI ya que no representa una "liberación" adicional de carbono [2]. Una fracción importante de biogás escapa de los reactores como fugas y otra pasa como hidrocarburo no quemado por la baja eficiencia de los quemadores, aportando otras fuentes de emisión de metano. La cantidad de metano producida en los reactores UASB, pueden ser medida o calculada mediante un factor de emisión ajustado, a partir de proyecciones hechas con los resultados obtenidos en ensayos de actividad metanogénica [7].

Otras fuentes importantes de emisiones

de metano al interior de la PTAR son: el micro relleno sanitario, donde se deposita el material orgánico recuperado en el tratamiento preliminar y las lagunas facultativas. La cantidad de metano producida en las lagunas facultativas, se hace representativa en la medida que se trata de una emisión directa y dispersa de difícil captura y aprovechamiento, que aumenta paulatinamente con el tiempo de operación de estas unidades. Las emisiones de metano en las lagunas facultativas, se determina utilizando el factor de emisión característico, FE = 0.22 kton CH₄/kton DBO tratada [5].

2.2. N₂O asociado al tratamiento y disposición de aguas residuales

2.2.1 Generalidades. El Óxido Nitroso (N₂O) es un importante GEI, con un GWP 310 mayor que el del CO₂ [2, 3]. Las emisiones de N₂O provenientes del manejo y disposición de aguas residuales, hacen parte del conjunto de emisiones derivadas de la actividad agrícola (Figura 1), según lo conceptúa la metodología de clasificación de fuentes de GEI del IPCC [3, 6].

En general, el cálculo del N₂O producido en cualquier sistema no es una tarea sencilla, si se tiene en cuenta que existe una gran incertidumbre sobre la identificación de sus fuentes de emisión y su compleja interrelación [6, 8 - 10]. Por mucho tiempo el cálculo del balance global de nitrógeno fue errático, a pesar de la identificación temprana de las emisiones de N₂O relacionadas con la agricultura y esto era debido a la omisión sistemática de lo que fue llamado "the forgotten

component of the global N₂O budget", haciendo referencia al N₂O asociado al ciclo hidrológico [9]. Esto se explica porque la emisión neta de N₂O se produce separada en tiempo y espacio, entre el sitio donde se hace el aporte de la carga externa de alguna forma reactiva de nitrógeno (NH₄⁺, Norg, NO₃, NO₂) y los sitios donde ocurren la transformación y la emisión principal [10].

Lo anterior, sumado a la complejidad de los procesos de acumulación y biotransformación al interior del ciclo del nitrógeno, donde sus diferentes formas reactivas, se intercambian entre sí múltiples veces, mediante reacciones coccurentes de oxido-reducción, que además de regresar a la atmósfera nitrógeno molecular (N₂) también dan lugar a N₂O (figura 2), son factores que dificultan la determinación de un estimativo acertado de la cantidad de N₂O producido en cualquier sistema.

2.2.2 Relación entre las emisiones de N₂O y la tecnología de tratamiento de aguas residuales utilizada.

La mayor parte de las tecnologías avanzadas de acuípurificación (ej. lodos activados, ammonox, etc.), concebidas para alcanzar remociones importantes de nitrógeno, logran un relativo control del delicado equilibrio que existe entre las reacciones de oxido-reducción, que permiten la transformación de nitratos y nitritos hacia la forma amoniacal (NH₄⁺) y viceversa, buscando eliminar la mayor parte del nitrógeno disuelto como nitrógeno molecular estable (N₂).

Infelizmente en estas instalaciones siempre existe formación directa de N₂O, como intermediario o subproducto indeseable de las reacciones de óxido-reducción al interior de las unidades de tratamiento [11-13], aunque el Panel Intergubernamental de Cambio

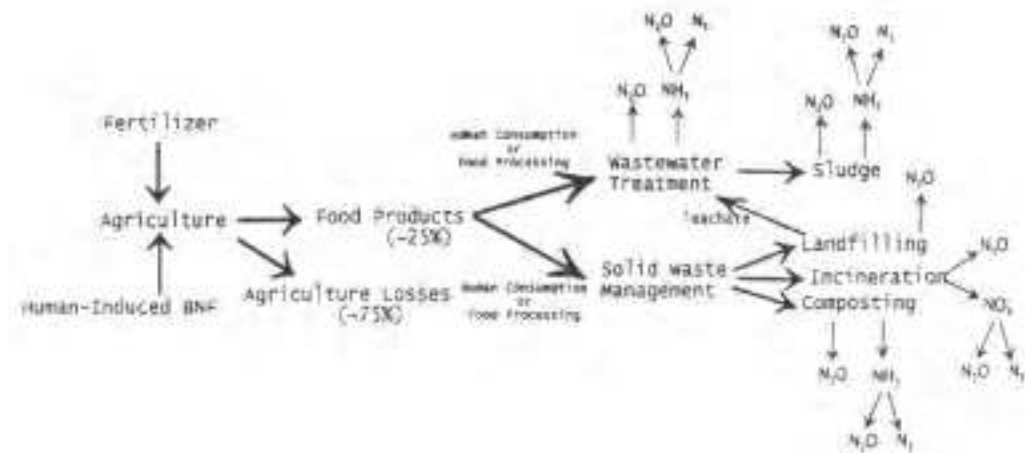


Figura 1. Contexto de las emisiones de N₂O asociadas a la agricultura y al manejo de residuos (Barton y Atwater, 2002)

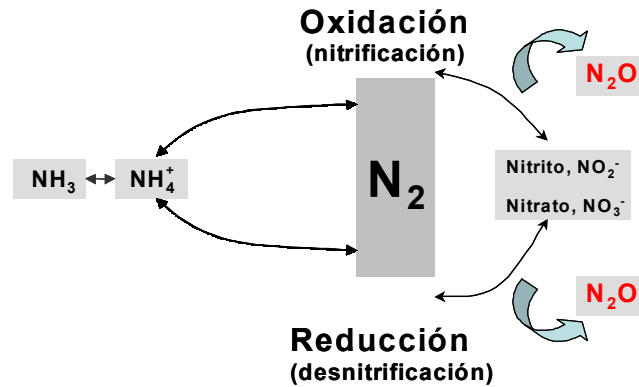


Figura 2. Representación esquemática de las rutas de formación del N_2O durante el ciclo del nitrógeno (Firestone y Davidson, 1989)

Climático (IPCC), desconoce esta fuente importante de N_2O y por consiguiente no define un factor de emisión para sistemas avanzados de tratamiento de aguas, en contradicción con las evidencias contrarias que promulgan las más recientes investigaciones al respecto [11, 12, 14]

En la operación de muchos tratamientos terciarios de desnitrificación, la conversión de una parte de los nitratos en N_2O ha pasado inadvertida [12]. De igual manera, en los sistemas aireados un inadecuado control del suministro de oxígeno, el pH o la alcalinidad, puede llevar a niveles de conversión de NH_4^+ en N_2O , superiores al 30%; por el contrario cuando estas variables son correctamente controladas, esta conversión se puede reducir al 0.1%, como lo muestran experiencias en unidades de aireación intermitente [13]. El nitrógeno amoniacal, bajo la forma de ión amonio muy soluble, es uno de los contaminantes característicos de efluentes industriales, de las descargas

municipales no tratadas y de efluentes de PTAR's municipales anaerobias y/o facultativas, donde no hay remoción de NH_4^+ . En este caso la formación y la emisión de N_2O puede llegar a ser más severa que en los sistemas de tratamiento avanzados, aunque ésta ocurre fuera de las fronteras físicas de la instalación, es decir, cuando el vertimiento rico en nitrógeno es devuelto a un cuerpo receptor de agua, donde estimula procesos naturales y no selectivos de nitrificación -denitrificación.

En síntesis, existe gran incertidumbre sobre la cuantificación de las emisiones de N_2O , en especial para el caso de aguas superficiales corrientes, debido a que la mayor parte de los estudios de formación de N_2O , se han efectuado en aguas subterráneas, desembocaduras de ríos, estuarios, mares interiores y aguas estancadas, donde se presentan condiciones favorables para la formación de N_2O : disponibilidad restringida de oxígeno, mayor presencia de microorganismos

nitrificantes y altos niveles de alcalinidad. Además, la alta solubilidad del N₂O en el agua favorece elevadas concentraciones de este gas en aguas infiltradas y subterráneas, por lo que tiende a permanecer en la fase líquida, hasta encontrar las condiciones que le permitan ser despojado hacia la atmósfera [10, 15].

Recientemente y gracias a la notable evolución de las técnicas de seguimiento isotópico de contaminantes, ha sido posible identificar algunas rutas preferenciales de transformación bioquímica del nitrógeno y de sus derivados in-situ. Todo parece indicar que la nitrificación no selectiva del ion amonio es la ruta principal de formación de N₂O en sistemas hídricos [10, 16, 17].

Infelizmente, un alto porcentaje de los vertimientos de PTAR's, se hace sobre aguas superficiales corrientes (ríos o emisarios), haciendo que a formación del N₂O sea más dispersa y que la distancia entre el vertimiento y los puntos de máxima formación y despojo de N₂O, llegue a ser en muchos casos determinante para la evaluación de estas emisiones. Sin embargo, un primer estudio realizado en 1978, referente al vertimiento final de la planta de aguas residuales domésticas "Blue Plans en Washington DC, sobre el estuario del Río Potomac, permitió establecer que un 5% del total de NH₄⁺ vertido se convertía en N₂O [18].

Un estudio similar efectuado en el Río Hudson, revela la existencia de sobre

saturación de N₂O disuelto en las aguas superficiales, con un promedio de sobresaturación del 185% y establece que la nitrificación de nitrógeno amoniacal en N₂O alcanzó el 10% [20]. Por otra parte, experimentos bajo condiciones controladas a nivel de laboratorio, sugieren que los procesos naturales de nitrificación y desnitrificación pueden alcanzar un 8% de selectividad en la formación de N₂O [13].

Recientemente, se han evaluado las emisiones de N₂O asociadas al río South Plate en Colorado, cuyas aguas superficiales son contaminadas por aguas de riego agrícola y la descarga final de la PTAR de la ciudad de Denver. La desnitrificación ha sido señalada como la principal fuente de N₂O en las zonas donde el río recibe descargas de origen agrícola, mientras que la nitrificación lo fue luego del punto de descarga de la PTAR de Denver, principal fuente externa de NH₄⁺ (Figura 3).

3. PROYECTO MDL DE LA PTAR RIO FRIO

3.1 Justificación. El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), proporciona el incentivo económico necesario para desarrollar proyectos en el sector residuos (sólidos y aguas residuales), cuando estos aseguran un componente de captura y reducción de gases efecto invernadero (GEI). En el caso de una PTAR anaerobia como la de Río Frío, los componentes de efecto invernadero objetivo del proyecto son el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O).

3.2 Objetivo. Este proyecto busca contribuir mediante la cogeneración de 5.62 Gwh/año y la modificación del tratamiento secundario de la PTAR, con una reducción de GEI cercana a las 30 kton. equ. de CO₂/año, por concepto de la utilización del biogás (metano) y la reducción de la concentración de nitrógeno amoniacal contenido en el efluente final de la PTAR, responsable de la formación de emisiones furtivas de óxido nitroso (N₂O).

3.3 Descripción del proyecto MDL.

El proyecto comprende la instalación de un esquema completo de recuperación del biogás y la modificación del tratamiento secundario, pasando de un sistema de lagunas facultativas a un sistema de lagunas aireadas para ser operadas en régimen permanente o transitorio.

Adicionalmente, se espera dar respuesta a las preocupaciones económicas, ambientales y energéticas

planteadas por la no utilización del biogás generado en la PTAR y promover una metodología MDL en el sector tratamiento de aguas residuales susceptible de replicación en el país y en otros países tropicales en vía de desarrollo, donde el uso de la tecnología anaerobia y facultativa es la más expandida [21, 22]. De esta forma, el sector tratamiento de aguas residuales puede constituirse en un potencial huésped de proyectos, que propendan por el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones de GEI establecidos por el Protocolo de Kyoto y por la evolución de la tecnología utilizada en el tratamiento de aguas residuales.

4. DISCUSION Y CONCLUSIONES

1. La verificación de las metas de reducción de emisiones de N₂O, puede ser más compleja que para los otros GEI, por cuanto no existe el suficiente entendimiento de cómo y donde se producen antes de ser emitidas a la

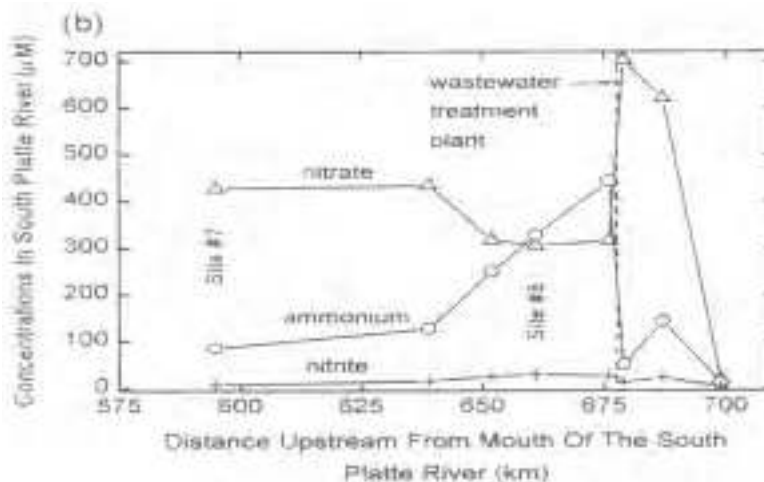


Figura 3. Concentraciones NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻ en el río South Platte (Colorado, USA) - Afectación por la descarga de la PTAR de Denver. (Mahon & Dennehy, 1999)

atmósfera. Esta es una fuerte restricción para la formulación de proyectos MDL en el sector tratamiento anaerobio de aguas residuales, en especial cuando la descarga final rica en nitrógeno, se hace sobre un cuerpo de agua superficial corriente como un río. La metodología del IPCC, establece que la probabilidad de que un átomo de nitrógeno vertido en un efluente municipal se convierta en N₂O es 0.2 a 2%, cifra 5 a 8 veces menor que las mediciones históricas de emisiones de N₂O asociadas a aguas contaminadas con nitrógeno. No obstante, las expectativas que sugieren los resultados experimentales, no pueden generalizarse de forma inapropiada y para cada caso se debe determinar la magnitud de las emisiones de N₂O e identificar situaciones que puedan aumentarlas, como la infiltración hacia aguas subterráneas o la presencia de actividad agrícola.

2. En PTAR's anaerobias, la captura y aprovechamiento de metano o la implementación de tecnologías para reducir el contenido de formas reactivas de nitrógeno (NH₄⁺, Norg, NO₃⁻, NO₂⁻) en el efluente, son las actividades que generan mayor adicionalidad ambiental, social y económica y permiten la concepción y cierre financiero de un proyecto MDL en este sector.

3. América Latina podría captar recursos valiosos a través del MDL, en proyectos relacionados con el mejoramiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, mayoritariamente representados en la región por sistemas UASB y otros dispositivos anerobios, que tienen un nivel significativo de afectación sobre el cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kyoto Protocol to the United Nations Framework convention on Climate Change. Kyoto, Dec. 1997
2. Changement Climatique: Un défi majeur. Publication ADEME (2000), p. 1 - 23
3. Intergovernmental Panel on Climate Change/Organization for Economic Cooperation and Development (IPCC). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Paris, France, 1997
4. Schellinkhout, A. y Collazos, C. J. Water Sci. Technol. 25, (1992) p. 159 - 166
5. Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases Efecto Invernadero. IDEAM, Bogotá D.C. 1999
6. Barton, P. K and Atwater, J. W. J. of Environmental Engineering, 128, (2002), p. 137 - 150
7. Ince, O. et al. J. of Chem. Technol. and Biotechnol. 76, (2001) p. 573 - 578
8. Firestone, M. K. & Davidson, E. A. En: "Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere", M. O. Andrae & D. S. Schimel, eds., Wiley, New York, (1989), p. 7-21
9. Ronen, D., Margaritz, M. and Almon, E. Nature 335, (1988) p. 756 - 759
10. Bateman, A. & Hiscock, K. Dissemination note. The UK Natural Environment Research Council under the Global Nitrogen Enrichment Thematic Programme. May 2001.
11. Czepiel, P.; Crill, P.; Harriss, R.. Environmental Science & Technology, 29, (1995), p. 2352 - 2356
12. Spector, Marshall. Water Environment Research. 70, (1997) p. 1242 - 1247
13. Zheng, H.; Hanaki, K. and Matsuo, T. Water Sci. Technol., 30, (1994), p. 133 - 141
14. www.epa.gov/ttn/chief/conference/eir/green/scheehle.pdf
15. Yoshinaria, T. et al. Marine Chemistry, 56, (1997), p. 253 - 264
16. Ueda, S.; Ogura, N.; Yoshinaria, T. Water Research, 27, (1993) p. 1787 - 1792
17. Kim, K. R.; Craig, H. Science, 262, (1993), p. 1855 - 1857
18. Mc Elroy, M.B. & J.W. Elkins. J. Limnol. Oceanog., 23, (1978) p. 1168 - 1182
19. McMahon, P.B.; Dennehy, K.F. Environmental Science & Technology, 33, (1999), p. 21 - 25
20. Cole, J. J.; Caraco, N. F. Environmental Science & Technology, 35, (2001), p. 991 - 996
21. Hulshoff, L. et al. Proceedings of the fifth Latin-American Seminar on Anaerobic Wastewater Treatment, Viña del mar, Chile, 1998
22. Van Haandel, A. C. & Lettinga, L. Anaerobic sewage treatment. Jhon wiley & sons, London, England, 1994