

---

# Remoción de sulfuro de dimetilo mediante biofiltración con bagazo de caña inoculado con *Hyphomicrobium* VS

Héctor Treto Fernández<sup>1</sup>, Iván Rodríguez Rico<sup>1\*</sup>, Josefina Jover de la Prida<sup>1</sup>, Herman Vanlangenhove<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba. <sup>2</sup> Departamento de Química Orgánica, Facultad de Biociencia e Ingeniería, Universidad de Ghent, Bélgica

---

*Dimethyl sulfide removal by biofiltration cane bagasse inoculated with *Hyphomicrobium* VS*

*Remoció de sulfur de dimetil mitjançant biofiltració amb bagàs de canya inoculat amb *Hyphomicrobium* VS*

*Recibido: 19 de mayo de 2011; revisado: 23 de julio de 2011; aceptado: 26 de julio de 2011*

## RESUMEN

La remoción de Sulfuro de dimetilo en una corriente de aire fue evaluada mediante la operación de un biofiltro utilizando bagazo de caña de azúcar como soporte de los microorganismos. El biofiltro fue inoculado con la bacteria *Hyphomicrobium* VS y se analizó el comportamiento del biofiltro para diferentes variables de operación como la eficiencia de remoción (ER) y la capacidad de eliminación (EC) obteniéndose los mejores resultados de remoción para un flujo de 0.03 m<sup>3</sup>/h con una ER de 97.6 % y una EC de 0.61 gDMS/m<sup>3</sup>h. También se realizó la caracterización al bagazo empleado como soporte, utilizando las técnicas de análisis elemental, espectroscopía infrarroja y microscopía electrónica de barrido.

**Palabras clave:** Bagazo, biofiltración, *Hyphomicrobium* VS, sulfuro de dimetilo.

## SUMMARY

The removal of Dimethyl sulfide in a current of air was evaluated by means of the operation of a Biofilter that used sugarcane bagasse like support of the microorganisms. The Biofilter was inoculated with *Hyphomicrobium* VS and the behavior was analyzed for different operation variables like the removal efficiency (ER) and the elimination capacity (EC) being obtained the best remotion results for a flow of 0.03 m<sup>3</sup>/h with a ER of 97.6% and a EC 0.61 gDMS/m<sup>3</sup>h. Also carried out the characterization to the sugarcane

bagasse used like support was realised, using the techniques of elementary analysis, infrared spectroscopy and electronic microscopy of sweeping.

**Keyword:** Biofilter, dimethyl sulfide, *Hyphomicrobium*VS, sugarcane bagasse.

## RESUM

S'ha avaluat la remoció de sulfur de dimetil en un corrent d'aire mitjançant l'operació d'un biofiltre, utilitzant bagàs de canya de sucre com a suport dels microorganismes. El biofiltre va ser inoculat amb el bacteri *Hyphomicrobium* VS i es va analitzar el comportament del biofiltre per a diferents variables d'operació com l'eficiència de remoció (ER) i la capacitat d'eliminació (EC). Els millors resultats de remoció es van obtenir per a un flux de 0,03 m<sup>3</sup> / h amb una ER d'97.6% i una EC de 0,61 gDMS/m<sup>3</sup>h. També es va realitzar la caracterització del bagàs emprat com a suport, utilitzant tècniques d'anàlisi elemental, espectroscòpia infraroja i microscòpia electrònica d'escombratge.

**Paraules clau:** bagàs, biofiltració, *Hyphomicrobium* VS, sulfur de dimetil

---

\*Autor para la correspondencia: \*hectort@uclv.edu.cu; ivanl@uclv.edu.cu; <sup>2</sup>herman.vanlangenhove@ugent.be

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la concentración en que son emitidos, los olores pueden llegar a generar una serie de efectos negativos sobre la salud, tales como son dolores de cabeza, náuseas, irritación de ojos y mucosas, parálisis respiratorias e incluso la muerte a altos períodos de exposición y altas concentraciones. A bajas concentraciones, y aún sin generar estos efectos nocivos, su presencia es desagradable y genera malestar a nivel local. [1,2,3]

El sulfuro de dimetilo (DMS) es emitido en muchas actividades industriales como en plantas de tratamiento de aguas residuales, industria de pulpa y papel, tostadoras de café, plantas procesadoras de alimentos e industrias pesqueras. [4,5,6,7]. Se reporta que el sulfuro de dimetilo (DMS) tenga un impacto significativo en el clima de la Tierra y un papel central por el ciclo de azufre [8]. El umbral de detección olfativo (0.001 ppm) de DMS es más bajo que otros compuestos de azufre, tales como metil mercaptano (MM), disulfuro de dimetilo (DMDS), sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), disulfuro de carbono ( $CS_2$ ), y dióxido de azufre ( $SO_2$ ) [9]. Dentro de las tecnologías más utilizadas para la minimización de emisiones gaseosas, se encuentran las de tipo convencional. Estas se basan principalmente en las características fisicoquímicas y térmicas de sus componentes. Dentro de estas tecnologías, los procesos más utilizados son los de oxidación térmica y catalítica, incineración, absorción y adsorción. En general, estas tecnologías presentan altas eficiencias de eliminación, pero a expensas de un alto costo de inversión inicial y mantenimiento. [7,10,11,12]

Como alternativa a los tratamientos de tipo convencional, se encuentran los tratamientos biológicos. Una variedad de bacterias pueden utilizar el sulfuro de dimetilo como fuente de carbono y/o azufre y de energía [13]. Microorganismos Metilotróficos como *Hyphomicrobium sp.*, y *Methylophaga sulfidovorans* pueden degradar DMS vía metil mercaptano [13,14], pero la cepa *Methylomicrobium sp* transforma DMS a Oxisulfuro de dimetilo (DMSO) [15]. Algunas cepas sulfooxidantes como *Thiobacillus thioparus* y *Thiobacillus sp.* también degradan DMS vía metil mercaptano [16,17]. Cepas parcialmente fototróficas como *Rhodobacter sulfidophilus* y *Thiocapsa roseopersicina* transforman el DMS a DMSO utilizando un donador de electrones [16, 18], y algunas cepas heterotróficas como *Pseudomonas acidovorans*, *P. fluorescens* y *Acinetobacter sp* también se han encontrado que son capaces de transformar el DMS a DMSO [19, 20, 21]. Este tipo de tratamientos utiliza la capacidad de los microorganismos, principalmente bacterias y hongos de oxidar aeróbicamente compuestos orgánicos y olores a componentes menos contaminantes como  $CO_2$ , agua y biomasa. [22]

La biofiltración es sin duda alguna la tecnología de tratamiento biológico de gases más utilizada. Está caracterizada por el uso de un soporte inorgánico u orgánico tales como aserrín, turba, composta, y otros menos usados, que provee los nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos, transformando el soporte orgánico en un filtro biológicamente activo. Al pasar el aire contaminado a través del lecho, los microorganismos presentes en la superficie del soporte degradan los contaminantes. En este aspecto el bagazo de la caña de azúcar puede convertirse en el material apropiado para su empleo como medio de los microorganismos en los biofiltros debido a su bajo costo, su abundancia y a sus características químicas y físicas. [23]

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Soporte empleado y caracterización

Para soporte de los microorganismos en el biofiltro se utilizó bagazo de caña de azúcar proveniente de la Planta Píloto "José Martí" ubicada en la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas en la provincia de Villa Clara, Cuba.

### 2.2 Análisis Elemental del bagazo

Mediante el uso de catalizadores es posible quemar en una combustión rápida las muestras orgánicas, transformando todo el hidrógeno en  $H_2O$ , el nitrógeno en  $N_2$ , el carbono en  $CO_2$  y el azufre en  $SO_2$ . Los gases resultantes se pasan por una columna cromatográfica para separarlos y cuantificarlos. Este análisis se realiza utilizando un analizador elemental Fison's Instruments EA 1108 CHNS, que permite realizar la determinación simultánea del porcentaje de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre en 15 minutos. [24]

### 2.3 Análisis infrarrojo

Al bagazo de caña de azúcar, se le realizó un análisis infrarrojo con un espectrofotómetro de IR por Transformada de Fourier (FTIR), marca Nicolet, modelo 20SXB para identificar los grupos químicos presentes en este material utilizado como soporte y completar el estudio de los grupos funcionales. Los experimentos fueron llevados a cabo usando cubetas de KBr para preparar la muestra de bagazo de caña, el rango del espectro varió desde 4000 a 400  $cm^{-1}$ .

### 2.4 Microscopía electrónica de barrido

La superficie morfológica del sólido fue analizada usando un microscopio electrónico de barrido Leo Gemini 1530 a un voltaje de aceleración de 5 kV y a una distancia de trabajo de 5 mm.

### 2.5 Preparación del bagazo

El bagazo de caña fue tamizado hasta obtener partículas entre 4 y 8 milímetros pues tamaños grandes: (>30 mm), darían una densidad de empaque baja (kg bagazo/m<sup>3</sup> reactor), y posibilidad fuerte de acanalamiento, ambos factores promueven capacidades de eliminación (CE) bajas. Por otro lado la caída de presión dP, es muy baja; tamaños pequeños (2-3 mm), darían densidades altas pero dP muy altas, acanalamiento posible para el líquido y dificultad de homogenizar. [25]

El bagazo tamizado fue lavado tres veces con agua destilada, secado durante un día a 800 C y luego esterilizado durante 15 minutos a 0,1MPa.

### 2.6 Microorganismos y medio de cultivo

*Hyphomicrobium VS* creció utilizando un medio que contenía 3 g /L,  $K_2HPO_4$ , 3g/L  $KH_2PO_4$ , 3g/L  $NH_4Cl$ , 0.5 g/ L  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  y 0.01 g /L  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  a pH 7, con la adición de 1 % volumen de Metanol [26] *Hyphomicrobium VS* se cultivó inicialmente añadiendo 50 $\mu$ L de la cepa (que se mantenía a - 80<sup>o</sup> C en Glicerol) a 5 ml del medio mineral que contenía 1 % Metanol. Esta suspensión se incubó por 5 días a 37<sup>o</sup> C. Para el crecimiento del *Hyphomicrobium VS*, 20 ml de esta precultivo fue centrifugado y lavado dos veces con solución salina (0.9 % NaCl) y añadida a 1 Litro de medio mineral. Esta suspensión fue provista de 100 pmmv de DMS en aire (200 ml /min) hasta que el crecimiento fue visible. Luego se inocularon estos microorganismos en el bagazo y este fue incorporado al biofiltro.

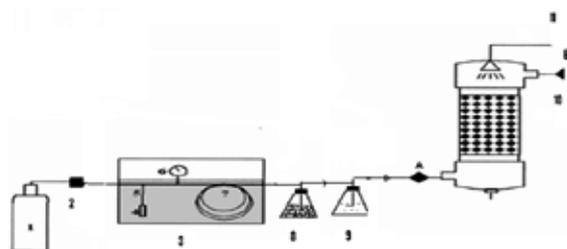
## 2.7 Método Analítico

Las concentraciones de sulfuro de dimetilo (DMS) fueron medidas en un cromatógrafo Varian 3700 equipado con un detector de flama ionizada y una columna de 30 m CO – SIL 5 CB empacada con un diámetro interno de 0.53 mm y un espesor de la película de 5  $\mu\text{m}$ .

Jeringas de precisión analítica (Alltech Ass) fueron utilizadas para inyectar 1 ml de la muestra de gas en el cromatógrafo de gases.

## 2.8 Sistema de biofiltración y condiciones de operación del biofiltro.

El biofiltro fue construido empleando Plexiglás con un diámetro interno de 0.045 m y con un volumen de empaque de 1.5 litros. Todas las conexiones realizadas fueron hechas con Teflón. La evaluación del biofiltro fue realizada en los laboratorios del grupo ENVOG de la Universidad de Ghent en Bélgica. El sistema de biofiltración se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Esquema del sistema de Biofiltración. 1 Botellón de aire seco, 2 Controlador de flujo másico, 3 Piscina de agua con Termostato, 4 reservorio de DMS, 5 Tubo capilar, 6 manómetro, 7 tuberías capilares, 8 Mezclador, 9 Humidificador, 10 Biofiltro, 11 Ducha para la humidificación del soporte, A Puerto para muestras a la entrada del biofiltro, B Puerto para muestras a la salida del biofiltro.

El biofiltro inoculado con *Hyphomicrobium VS* fue operado variando los flujos de aire y las concentraciones de DMS a la entrada, las condiciones de operación se muestran en la Tabla 1. Los experimentos se realizaron a pH 7 y a 25°C.

Tabla 1. Condiciones de Operación del Biofiltro

Tiempo de operación (d)	EBRT (s)	Carga de entrada (g DMS /m3h)	Concentración inicial (ppmv DMS)
0-30	180	0.62	12
31-60	90	1.25	12
61-90	180	2.6	50
91-120	90	5.2	50

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Análisis Elemental del bagazo

En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis elemental realizado al bagazo de caña.

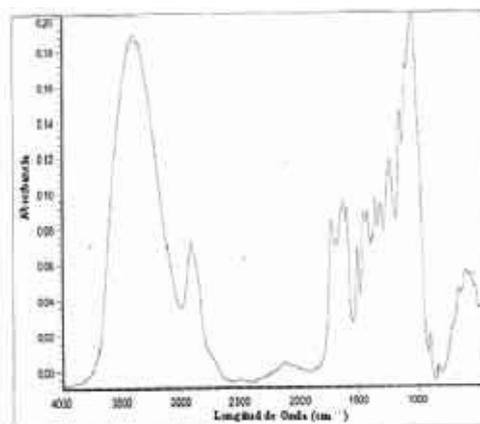
Tabla 2. Análisis elemental del bagazo de caña empleado en la biofiltración.

Material	Análisis elemental				
	% C	% H	% N	% S	% O
Bagazo	43.03	6.42	0.60	-	49.95

Como se puede apreciar el bagazo empleado como soporte de los microorganismos en el biofiltro está constituido fundamentalmente por oxígeno y carbono y en menor porcentaje por hidrógeno y nitrógeno.

### 3.2 Análisis infrarrojo

El espectro infrarrojo por Transformada de Fourier de la muestra sólida se muestra en la Fig.2. Las bandas características IR para materiales lignocelulósicos como el bagazo de caña puede dividirse en cuatro regiones: el ancho de la banda del grupo hidroxilo (3200-3600  $\text{cm}^{-1}$ ), las bandas de alargamiento de CH, CH<sub>2</sub> Y CH<sub>3</sub> (2800-3000  $\text{cm}^{-1}$ ), las bandas de extensión del grupo carbonilo (1550-1750  $\text{cm}^{-1}$ ) y la región marcada por debajo de 1550 $\text{cm}^{-1}$  en la cual el pico del IR no está claro por la interacción compleja de sus sistemas de vibraciones.

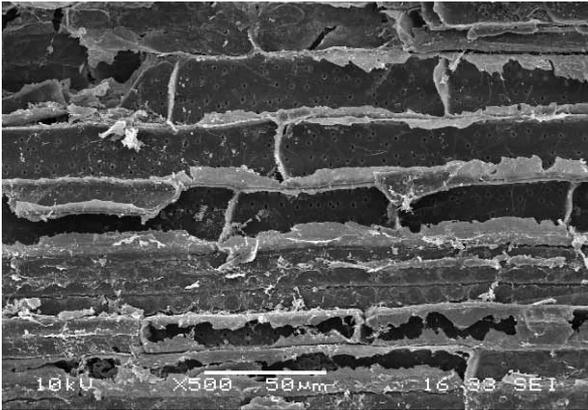


**Figura2.** Espectro infrarrojo del bagazo de caña empleado como soporte en el Biofiltro.

Dos bandas de absorción fueron centradas a 1634 y 1733  $\text{cm}^{-1}$ . De acuerdo a la literatura la banda de absorción del grupo éster y carboxilo en los compuestos orgánicos es aproximadamente 1740 $\text{cm}^{-1}$ , el número de onda de la banda de absorción del ión carboxilato alrededor de 1620  $\text{cm}^{-1}$  [27]. Por lo tanto puede concluirse que la banda de absorción a 1733  $\text{cm}^{-1}$  se atribuye a la absorción de los grupos éster y carboxilos, quizás la banda de absorción a 1634  $\text{cm}^{-1}$  puede corresponder a la absorción del ión carboxilato. El pico intenso a 1054  $\text{cm}^{-1}$  junto con el pico débil a 1250  $\text{cm}^{-1}$  y el hombro a 1162  $\text{cm}^{-1}$  son vibraciones de alargamiento del C-O de éteres y alcoholes [28].

### 3.3 Microscopía electrónica de barrido

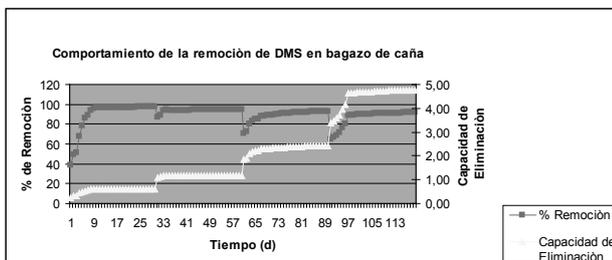
La fig.3 muestra una microfotografía de la microscopía electrónica de barrido del bagazo de caña usado como soporte, puede observarse que el material presenta una superficie irregular y con porosidad, lo cual puede ayudar a la inmovilización de las células microbianas utilizadas en esta investigación.



**Figura 3.** Microscopía electrónica de barrido del bagazo utilizado. Imagen ampliada 500 veces.

### 3.4 Remoción de sulfuro de dimetilo.

En la Fig. 4 se muestra el comportamiento de la remoción de sulfuro de dimetilo (DMS) en bagazo de caña como soporte.



**Figura 4.** Comportamiento de la remoción de DMS en bagazo de caña utilizando *Hyphomicrobium VS*

Durante los primeros 30 días el biofiltro fue operado a un flujo de  $0.03 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  y una concentración de entrada de 12 ppmv alcanzándose al cabo de 8 días un % de Remoción de 94 % estabilizándose su funcionamiento a partir de los 10 días con una remoción del 96 % y una capacidad de eliminación (CE) de  $0.60 \text{ gDMS/m}^3\text{h}$ . Como se observa en la figura 4 a partir de los 24 días de operación del biofiltro se obtiene la máxima remoción de 97.6 %.

A los 31 días de funcionamiento del biofiltro, se duplica el flujo de alimentación manteniendo la concentración de entrada de 12 ppmv de DMS trayendo como consecuencia la disminución de la ER hasta un 87 % y elevándose la CE a  $1.09 \text{ gDMS/m}^3\text{h}$ . A los 4 días de operación en las condiciones anteriormente señaladas se alcanza más del 94 % de remoción de sulfuro de dimetilo (figura 4). Se obtienen resultados semejantes de CE con los reportados por otros investigadores en [29,30] cuando usan procesos de biofiltración en condiciones experimentales análogas de temperatura y tipo de microorganismo, pero con soporte de cáscara de árboles. [30]

A los 61 días de operación se continúan los experimentos con una concentración de entrada de 50 ppmv de DMS a un flujo de entrada de  $0.03 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ . Como se observa en la figura 4 el por ciento de remoción disminuye hasta 71 % debido al aumento de la carga hasta los  $2.60 \text{ gDMSm}^{-3}\text{h}^{-1}$  (Tabla 2). Este comportamiento puede deberse a las nuevas condiciones del medio que son severas por lo que la cepa *Hyphomicrobium VS* necesita adaptarse a las mismas, lo cual se logra los 12 días en que se alcanza un 90.1 % de remoción.

Cuando se duplica la carga a los 91 días hasta  $5.20 \text{ gDMSm}^{-3}\text{h}^{-1}$  el % de remoción disminuye bruscamente hasta 65 %, estabilizándose a los 11 días de funcionamiento a estas condiciones lográndose del 90 % hasta el final de los experimentos. Durante esta etapa el biofiltro alcanza su máxima capacidad de eliminación de  $4.76 \text{ gDMSm}^{-3}\text{h}^{-1}$ . En este trabajo se muestra la posibilidad del empleo del bagazo de caña como soporte en biofiltración para la eliminación del sulfuro de dimetilo al igual que otros autores usaron el mismo soporte en biofiltración para el tratamiento de emisiones gaseosas conteniendo  $\text{H}_2\text{S}$  en aire contaminado [31].

## 4. CONCLUSIONES

Los experimentos realizados muestran la viabilidad del uso del bagazo de caña de azúcar como soporte en la biofiltración. El biofiltro inoculado con *Hyphomicrobium VS* alcanza una máxima eficiencia de remoción de 97.6 % a un flujo  $0.03 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  y una concentración de entrada de 12 ppmv de sulfuro de dimetilo. La máxima capacidad de eliminación de DMS de  $4.76 \text{ gDMSm}^{-3}\text{h}^{-1}$  se obtiene a un flujo de  $0.06 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  y 50 ppmv de DMS a la entrada del biofiltro.

*El sistema empleado es propuesto como una alternativa efectiva para el tratamiento de aire contaminado con DMS para concentraciones moderadas de 12 a 50 ppmv.*

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la colaboración del Programa  $\alpha$ fa, Formación Científica y Técnica. BIOPROAM Bioprocesos: Tecnologías limpias para la protección y sustentabilidad del Medio Ambiente Contrato N° AML/190901/06/18414/II-0548-FC-FA y al grupo ENVOC de la Universidad de Ghent, Bélgica.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Smet E, Van Langenhove H. Abatement of volatile organic sulfur compounds in odorous emissions from the bio-industry, *Biodegradation* 9:273–284 (1998).
2. De Bo Inge, Van Langenhove H. Removal of dimethyl sulfide from waste air in a membrane bioreactor. *Desalination* 148:281–287 (2002).
3. Shareefdeen Z, Herner B, Webb D, Polenek S, Wilson S. Biofiltration removes VOC Emissions from a printed circuit board manufacturing facility. *AWMA 94th Annual Conference*, Orlando, Florida, June 24–28 (2001).
4. Shareefdeen Z, Biran H, Wilson S. Biofiltration of nuisance sulfur gaseous odors from a meat rendering plant. *J Chem Technol Biotechnol* 77:1–4 (2002).
5. Chan AA. Attempted biofiltration of reduced sulphur compounds from a pulp and paper mill in Northern Sweden. *Environ Prog* 25:152–160 (2006).
6. Cheng X, Peterkin E, Burlingame GA. A study on volatile organic sulfide causes of odors at Philadelphia's Northeast Water Pollution Control Plant. *Water Res* 39:3781–3790 (2005).
7. Arellano L, Revah S, Ramírez M, Gómez J, Cantero D. Dimethyl sulphide degradation using immobilized *Thiobacillus thioparus* in a biotrickling filter. *Environmental Technology* 12:1273–1279 (2009).

8. Welsh DT. Ecological significance of compatible solute accumulation by micro-organisms: from single cells to global climate. *FEMS Microbiol Rev* 4:263-290 (2000).
9. Tsai CH, Huang YJ, Chen JC, Liao WT. Deodorization of dimethyl sulfide using a discharge approach at room temperature. *J Air Waste Manage Assoc* 53:1225-1232 (2003).
10. Luvsanjanba M, Sercu B, Van Peteghem J, Van Langenhove H. Long-term operation of a thermophilic biotrickling filter for removal of dimethyl sulfide. *Chemical Engineering Journal* 142: 248-255 (2008).
11. Shareefdeen Z, Herner B, Wilson S. Biofiltration eliminates nuisance chemical odors from industrial air streams. *J Ind Microbiol Biotechnol.* 30: 168-174 (2003).
12. Bo ID, Heyman J, Vincke J, Verstraete W, Van Langenhove H. Dimethyl sulfide removal from synthetic waste gas using a flat poly(dimethylsiloxane)-coated composite membrane bioreactor. *Environ Sci Technol* 37:4228-4234 (2003).
13. Ito T, Miyaji T, Nakagawa T, Tomizuka N. Degradation of dimethyl disulfide by *Pseudomonas fluorescens* strain 76. *Biosci Biotechnol Biochem* 71:366-370 (2007).
14. De Zwart JMM, Nelisse PN, Kuenen JG. Isolation and characterization of *Methylophaga sulfidovorans* sp.nov: an obligately methylotrophic, aerobic, dimethylsulfide oxidizing bacterium from a microbial mat. *FEMS Microbiol Lett* 20:261-270 (1996).
15. Zhang L, Hirai M, Shoda M. Removal characteristics of dimethyl sulfide, methanethiol and hydrogen sulfide by *Hyphomicrobium* sp. I55 isolated from peat biofilter. *J Ferment Bioeng* 72:392-396 (1991).
16. Fuse H, Ohta M, Takimura O, Murakami K, Inoue H, Yamaoka Y. Oxidation of trichloroethylene and dimethyl sulphide by a marine ethylomicrobium strain containing soluble methane monooxygenase. *Biosci Biotechnol Biochem* 62:1925-1931(1998).
17. Hanlon SP, Holt RA, Moore GR, McEwan AG. Isolation and characterization of a strain of *Rhodobacter sulfidophilus*: a bacterium which grows autotrophically with dimethylsulphide as electron donor. *Microbiol* 140:1953-1958 (1994).
18. Visscher PT, Van Gemerden H. Photo-autotrophic growth of *Thiocapsa roseopersicina* on dimethyl sulfide. *FEMS Microbiol Lett* 81:247-250 (1991).
19. Visscher PT, Taylor BF. A new mechanism for the aerobic catabolism of dimethyl sulfide. *Appl Environ Microbiol* 59:3784-3789 (1993).
20. Zhang L, Kuniyoshi I, Hirai M, Shoda M. Oxidation of dimethyl sulfide by *Pseudomonas acidovorans* DMR-11 isolated from peat biofilter. *Biotechnol Lett* 13:223-228 (1991).
21. Pol A, Op den Camp H, Mees M, Kersten M, Van der Drift C. Isolation of a dimethylsulfide-utilizing *Hyphomicrobium* species and its application in biofiltration of polluted air. *Biodegradation* 5:105-112 (1994).
22. Shu C, Chen C. Enhanced removal of dimethyl sulfide from a synthetic waste gas stream using a bioreactor inoculated with *Microbacterium* sp.NTUT26 and *Pseudomonas putida*. *J Ind Microbiol Biotechnol.* 10: 1007-1017 (2009).
23. Devinny J, Dehusses M. . Biofiltration for Air Pollution Control. pp. 15. Lewis publisher: Boca Ratón, Florida. (1999).
24. Martín Lara M. Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados. Tesis para optar por el grado de Doctor Universidad de Granada, España. (2008).
25. Cárdenas B, Revah S. Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas., INE-Semarnat, México. (2003).
26. Sercu B, Nuñez D, Van Langenhove H, Aroca G, Verstraete W. Operational and Microbiological Aspects of a Bioaugmented Two-Stage Biotrickling Filter Removing Hydrogen Sulfide and Dimethyl Sulfide. *Biotechnology and Bioengineering* 90:2-12 (2005).
27. Roeges, N. A Guide to the Complete Interpretation of Infrared Spectra of Organic Structures, Wiley, New York, (1994).
28. Martín Lara M, Pagnanelli F, Mainelli S, Calero M, Toro L. Chemical treatment of olive pomace: effect on acid-basic properties and metal biosorption capacity, *J. Hazard. Mater.* 156:448-457 (2008).
29. Luvsanjamba M., Kumar A, Van Langenhove H. Removal of dimethyl sulfide in a thermophilic membrane bioreactor. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 10:1002-1010 (2008).
30. Smet E, Chasaya G, Van Langenhove H and Verstraete W, The effect of inoculation and the type of carrier material used on the biofiltration of methyl sulfides. *Appl Microbiol Biot.*45:293-298 (1996).
31. Jover J, Ramírez M, Rodríguez I, Gómez J.M, Cantero D. Evaluation of two methods for pH control in a Biofilter packed with sugarcane bagasse for hydrogen sulphide removal. Conference on Biofiltration for Air Pollution Control. Washington D.C. (2010).