



**Xº Encuentro RedBioLAC**

Foz de Iguazú, Brasil 2018

*Promoviendo desarrollo territorial sostenible  
e integración a través del biogás*

17 al 21 de Septiembre - Parque Tecnológico Itaipú

**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE H<sub>2</sub>S EN SISTEMAS  
DE PRODUCCION DE BIOGAS**

**MEDIANTE BIOFILTRACIÓN EMPLEANDO SOPORTES ORGÁNICOS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA-LA MOLINA**

**Clara Figueroa Cornejo**

**Xº Congreso Internacional RedBioLAC**

**Foz de Iguazú, 20 y 21 de septiembre de 2018**

# I. Introducción

La producción de energía eléctrica del Perú a partir de fuentes renovables no convencionales como el **biogás**, apenas representa el 0,08 por ciento, la producción de biogás está en constante crecimiento como resultado de la valorización energética de los residuos con materia orgánica biodegradable.



## II. Problemática

El biogás, de acuerdo a su origen contiene elevadas concentraciones de **contaminantes** que impiden su aprovechamiento si no son eliminados previamente, uno de ellos es el  $H_2S$  el cual además de ser corrosivo, cuando se quema, se transforma en  $SO_2$ , gas dañino para el ambiente y la salud. Existen tecnologías físicas , químicas y biológicas para remoción de los contaminantes, destacándose entre las biológicas, la biofiltración por ser menos costosa y amigable con el ambiente.



compost

### III. Justificación



humus

- A nivel gubernamental y financiero se viene impulsando la producción de biogás para favorecer el acceso a energía y contribuir con la mejora de la calidad de vida de pequeños productores rurales.
- La biofiltración como técnica de remoción de los contaminantes del biogás es de bajo costo y su eficiencia depende de la naturaleza del soporte o lecho y de su disponibilidad.

# IV. Objetivos

## 4.1. Objetivo general

Determinar la relación entre los parámetros de diseño del biofiltro, características del soporte y los factores de operación que hacen más eficiente el proceso de remoción de sulfuro de hidrógeno del biogás producido en el centro de manejo de residuos sólidos, CEMTRAR - UNALM.

## 4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el biogás y el material de soporte (compost, aserrín y humus) y analizar su uso potencial como lecho filtrante.
- Diseñar un biofiltro y determinar el efecto de los parámetros de diseño, características del lecho filtrante y características del biogás sobre la eficiencia en la remoción y capacidad de eliminación de sulfuro de hidrógeno.

# V. Materiales y Métodos



Figura 1: Etapas de la investigación

## Cuadro 1: Caracterización



Fase	Tipo de control	Técnica analítica
Soporte(*)	pH	Potenciómetro
	Densidad aparente y real	Gravimetría
	Porosidad	Por relación $d_a - d_r/d_a$
	Granulometría	Perfil granulométrico
	Temperatura	Termómetro analítico
	Materia orgánica	Laboratorio
	Materia inorgánica	
	Carga microbiológica	
Actividad microbiológica	Bacterias sulfooxidantes y presencia de hongos	
Biogas	Concentración de H <sub>2</sub> S	Equipo de medición de gases MULTITEC 545
	Caudal	Flujómetro

(\*) Laboratorio de análisis de suelos-UNALM

Primera etapa:

## Cuadro 2: Composición del biogas



Multitec 545

Componente	
Metano (CH <sub>4</sub> )	52-65%
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	28-35%
Oxígeno ( <u>O</u> <sub>2</sub> )	1-5%
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	650- 4200 ppm
Monóxido de carbono	1-14 ppmv

Elaboración propia

## Segunda Etapa

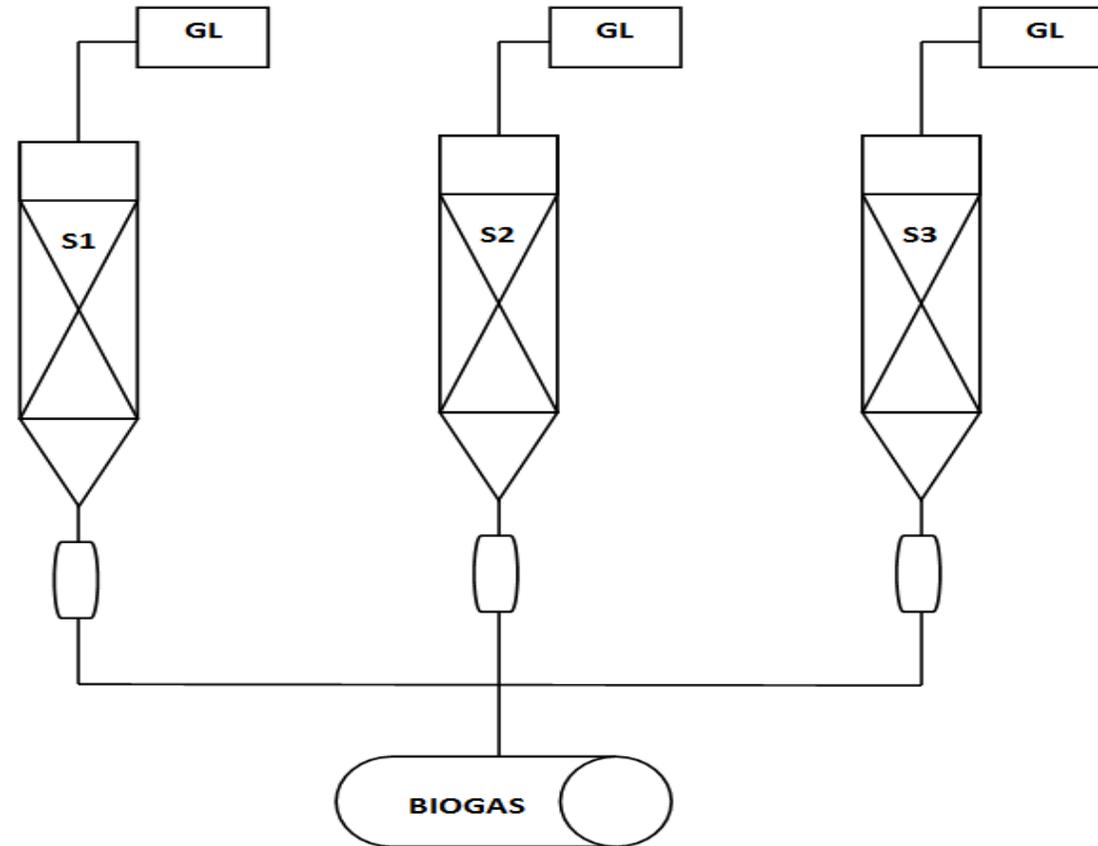


Figura 2: Diseño experimental, S1:compost, S2; Compost-Humus, S3: Compost-aserrín

## Segunda Etapa

### Cuadro 3: Diseño de los biofiltros

<b>Material de los biofiltros</b>	<b>PVC</b>
<b>Diámetro</b>	0,08 m
<b>Grosor de la pared</b>	0,005 m
<b>Longitud del biofiltro</b>	0,6 m
<b>Altura del empaque</b>	0,55 m
<b>Volumen del biofiltro</b>	3,0 L
<b>Volumen del lecho filtrante</b>	2,4 L
<b>Área superficial</b>	5,0 m <sup>2</sup>



Temperatura ambiente: 30-35°C

# Segunda Etapa

Variables independientes

- $C_{in}$  (ppmv)
- $F$ : 0,5, 1 L/min
- Tipo de soporte: S1, S2, S3

$$RE = \frac{(C_{in} - C_{out})}{C_{in}} \times 100$$

ecuación 1

$$EC = \frac{(C_{in} - C_{out})}{V_b} \times Q$$

ecuación 2

*RE: Porcentaje de remoción EC: Capacidad de eliminación  $V_b$ :*

*Volumen del lecho filtrante ( $m^3$ )*

*Q: Caudal tratado ( $m^3s^{-1}$ )  $C_{in}$  : concentración de ingreso ( $mgm^{-3}$ )*

*$C_{out}$ ; concentración de salida ( $mgm^{-3}$ )*

**Cuadro 4: Matriz de toma de datos**

Concentración de entrada (ppmv)	Tiempo (d)	Concentración de salida (ppmv)					
		S1		S2		S3	
		F1	F2	F1	F2	F1	F2
Periodo 1 750	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Periodo 2 2700	9	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	12	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	14	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	16	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Periodo 3 3500	18	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	20	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	22	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	24	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Periodo 3 3500	26	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	28	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	30	✓	✓		✓	✓	✓

# VI. Resultados y Discusión

## Primera Etapa : Cuadro 5: Caracterización del sustrato

### Deseable:

Rango humedad:40-60

Relación C/N: no menor a 10

Materia orgánica: no menor a 30 por ciento

Porosidad: alrededor del 80%

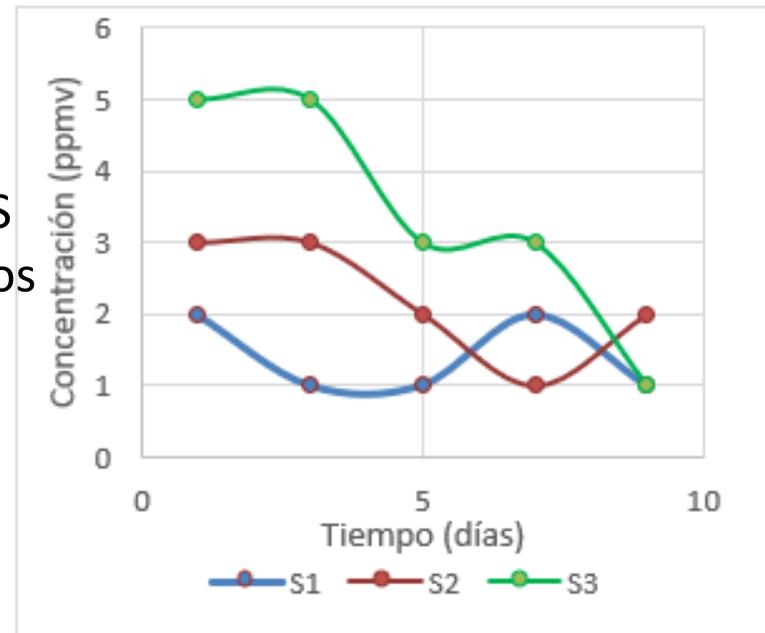
Moreno (2008): “alta tasa de degradación depende en gran medida del origen y naturaleza del soporte, de sus propiedades intrínsecas, de los consorcios microbianos presentes en los medios”

Tipo de control		Compost(S1)	Compost.humus (S2)	Compost- aserrin (S3)
Ph		6,83	6,85	6,95
Densidad aparente		0,37	0,36	0,25
Densidad real		1,96	1,98	1,76
Porosidad (%)		83	80	86
Humedad		49,00	55,35	48,00
Materia orgánica		35,79	45,45	45,82
Relación C/N		11,28	10,72	18,84
Nutrientes	N	1,8	2,1	1,9
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,13	1,48	1,58
	K <sub>2</sub> O	0,46	0,45	0,47
	CaO	7,00	7,25	7,37
	MgO	1,26	1,06	1,13
	Na	0,15	0,16	0,16
Composición microbiológica UFC/g	Bacterias	1,33 x 10 <sup>8</sup>	5,33 x 10 <sup>7</sup>	1,13 x 10 <sup>8</sup>
	Actinomicetos	3,00 x 10 <sup>6</sup>	2,30 x 10 <sup>6</sup>	2,80 x 10 <sup>6</sup>
	Hongos	1,67 x 10 <sup>5</sup>	1,83 x 10 <sup>5</sup>	1,67 x 10 <sup>5</sup>

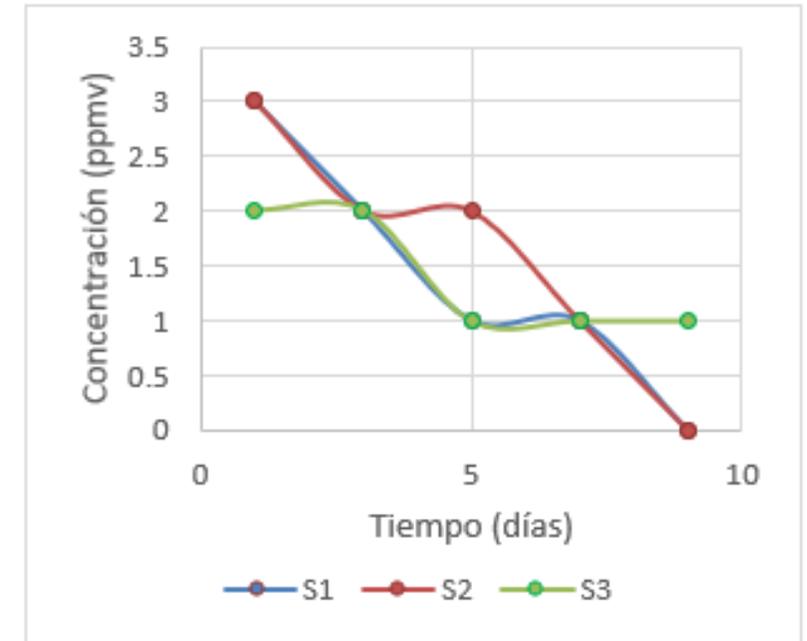
## Segunda Etapa: Resultados experimentales

### Periodo 1: $C_{in} = 750$ ppmv, F1 y F2

- Incremento en la remoción de  $H_2S$
- adaptación de los microorganismos al consumo del sulfuro.
- $C_{salida}$ : 0-2 ppmv



(a)



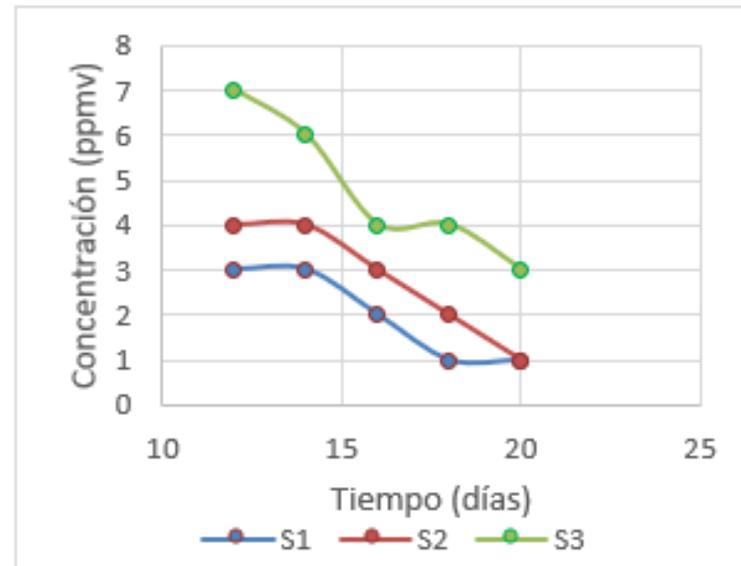
(b)

**Figura 3|** Periodo 1: salida de  $H_2S$  en cada soporte frente a un flujo de 0,5L/min(a) y 1L/min(b) y una concentración de ingreso de 750 ppmv

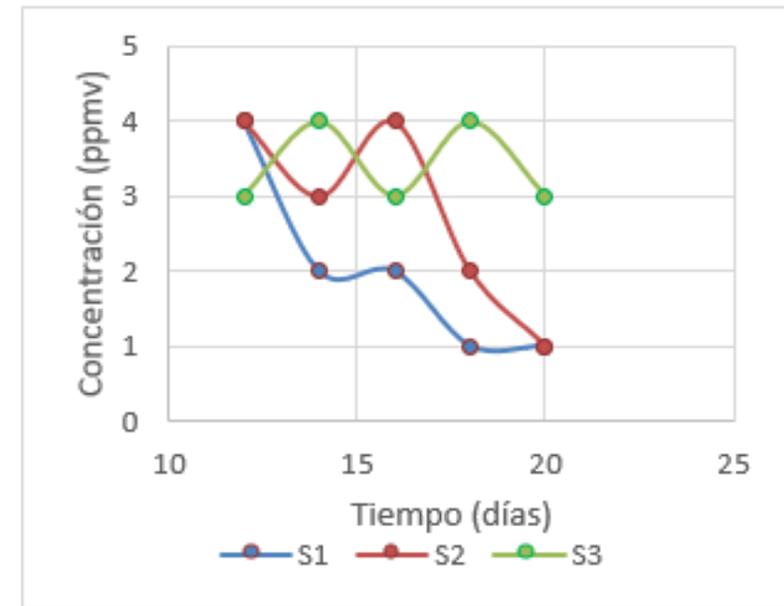
## Segunda Etapa: Resultados experimentales

•  
**Periodo 2:  $C_{in} = 2700$   
F1 y F2**

- Incremento en la red de  $H_2S$
- $C_{salida}$ : 1-3 ppmv



(a)



(b)

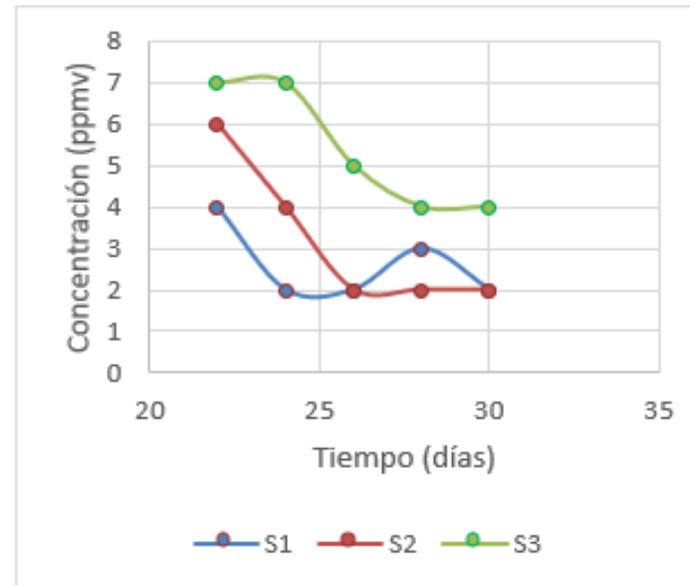
**Figura 4.** Periodo 2: salida de  $H_2S$  en cada soporte frente a un flujo de 0,5L/min(a) y 1L/min(b) y una concentración de ingreso de 2700 ppmv

## Segunda Etapa: Resultados experimentales

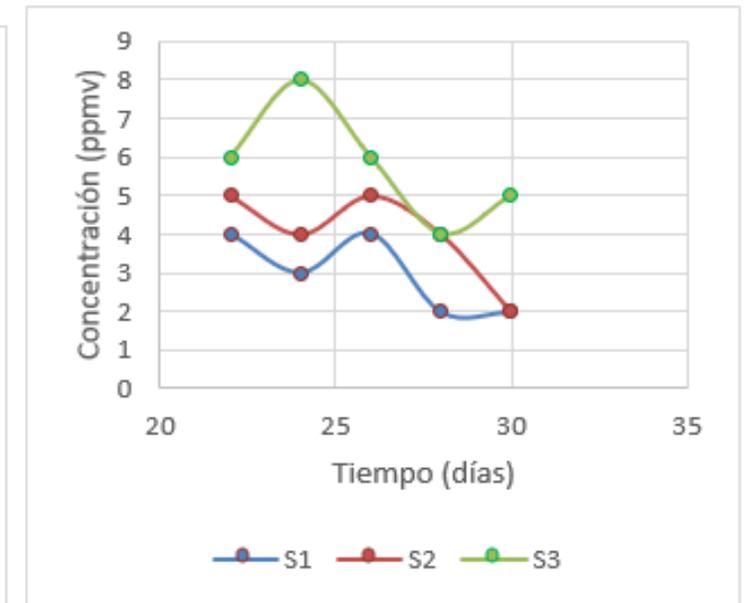
### Periodo 3: $C_{in} = 3\ 500$ ppmv, F1 y F2

- Incremento en la remoción de  $H_2S$
- $C_{salida}$ : 2-5 ppmv

Capacidad intrínseca de los microorganismos para la adaptación al  $H_2S(g)$ , el que utilizan como fuente de energía en la síntesis de las sustancias necesarias para sus funciones vitales.



(a)



(b)

**Figura 5.** Periodo 3: Concentración de salida de  $H_2S$  en cada soporte frente a un flujo de 0,5L/min(a) y 1L/min(b) y una concentración de ingreso de 3 500 ppmv.

## Cuadro 6: Porcentaje de remoción (%RE)

<b>C1: 750 ppmv</b>		Porcentaje de remoción				
FLUJO	SOPORTE	1	3	5	7	9
F1	S1	99,8	99,9	99,9	100	100
F1	S2	99,6	99,6	99,8	100	99,8
F1	S3	99,3	99,3	99,6	99,6	99,8
F2	S1	99,6	99,8	99,9	99,9	100
F2	S2	99,6	99,8	99,8	99,9	100
F2	S3	99,8	99,8	99,9	99,8	99,9
<b>C2: 2 700 ppmv</b>		Porcentaje de remoción				
FLUJO	SOPORTE	12	14	16	18	20
F1	S1	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
F1	S2	99,8	99,8	99,9	99,9	99,9
F1	S3	99,7	99,8	99,8	99,8	99,8
F2	S1	99,8	99,9	99,9	99,9	99,9
F2	S2	99,8	99,8	99,8	99,9	99,9
F2	S3	99,9	99,8	99,9	99,8	99,9
<b>C3: 3 500 ppmv</b>		Porcentaje de remoción				
FLUJO	SOPORTE	23	25	27	29	31
F1	S1	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
F1	S2	99,8	99,8	99,9	99,9	99,9
F1	S3	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8
F2	S1	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
F2	S2	99,8	99,8	99,8	99,8	99,9
F2	S3	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8

El porcentaje de remoción obtenido a lo largo de los tres periodos cercanos al 100 por ciento, muestran que no existen diferencias significativas en la eficiencia de los tres soportes estudiados y éstos son superiores a los obtenidos en investigaciones semejantes, por ejemplo, Omri *et al.* 2013 trabajando con un filtro de compost obtiene porcentajes de remoción de 90 por ciento, para concentraciones de ingreso de H<sub>2</sub>S, que estaban en rangos de 200 a 1 200 mgm<sup>-3</sup>.

## Cuadro 7: Capacidad de Eliminación (EC)

C1: 750 ppmv		Capacidad de Eliminación (EC)/ periodo				
FLUJO	SOPORTE	1	3	5	7	9
F1	S1	12,56	12,58	12,58	12,6	12,56
F1	S2	12,54	12,54	12,56	12,6	12,56
F1	S3	12,51	12,51	12,54	12,4	12,58
F2	S1	25,08	25,12	25,15	25,5	25,19
F2	S2	25,08	25,12	25,12	25,15	25,19
F2	S3	25,12	25,12	25,15	25,15	25,15
C2: 2 700 ppmv		capacidad de eliminación (EC)/periodo				
FLUJO	SOPORTE	12	14	16	18	20
F1	S1	45,28	45,28	45,3	45,32	45,32
F1	S2	45,27	45,27	45,28	45,3	45,32
F1	S3	45,22	45,23	45,27	45,27	45,28
F2	S1	90,53	90,59	90,59	90,63	90,63
F2	S2	90,53	90,57	90,53	90,59	90,63
F2	S3	90,57	90,53	90,57	90,53	90,59
C3: 3 500 ppmv		Capacidad de Eliminación(EC)/periodo				
FLUJO	SOPORTE	23	25	27	29	31
F1	S1	56,97	57	57	57	57
F1	S2	56,94	56,96	56,97	57	57
F1	S3	56,92	56,92	56,92	56,57	56,97
F2	S1	113,94	113,97	113,96	114	114
F2	S2	113,91	113,94	113,94	113,94	114
F2	S3	113,84	113,51	113,51	113,94	113,94

Para concentraciones de ingreso de sulfuro de 759 ppm(1 020 mgm<sup>-3</sup> ) a 3 500 ppmv (4 760 mgm<sup>-3</sup>.) los resultados muestran alta capacidad de eliminación las que son equivalentes con la eficiencia de remoción cercana al 100%.

# VII. Conclusiones

La investigación demuestra muy buena eficiencia de los biofiltros y ésta depende de las propiedades físico-químicas y biológicas adecuadas que éstos poseen:

- Los tres soportes mostraron propiedades físico-químicas y biológicas adecuadas como para su uso como lecho filtrante, tienen valores de pH alrededor del neutro son ricos en materia orgánica y micronutrientes proporcionando las condiciones favorables para la carga microbiana. Son tolerantes a variaciones de flujo y a periodos de abstinencia.

## Conclusiones

- Los medios presentaron una buena distribución de partículas y un tamaño que permitió el paso del biogas a través de la columna y no produjo apelmazamiento.
- La concentración de sulfuro de ingreso o carga ha sido alta y los microorganismos han tenido un buen desempeño, si bien se aprecia una ligera disminución en la remoción del  $H_2S$ , al incrementarse la carga, sin embargo los porcentajes de remoción alcanzan valores cercanos al 100 por ciento.
- El diseño de los biofiltros de flujo ascendente y del sistema de biofiltración ha permitido un buen desarrollo del trabajo experimental de laboratorio y se proyecta un buen resultado a nivel piloto en CEMTRAR.



# Gracias por su atención

Clara Figueroa Cornejo

Universidad Nacional Agraria-La Molina

[cfigueroa@lamolina.edu.pe](mailto:cfigueroa@lamolina.edu.pe)

Lima-Perú

