

Design of a biofiltration system for the minimization of H₂S and NH₃ in small poultry mortality units

Diseño de un sistema de biofiltración para la minimización de H₂S y NH₃ en unidades de mortalidad de avícolas pequeñas

GOMEZ-BAOS, LIBIA¹ ; MURILLO-ARANGO, WALTER²

ABSTRACT

The main sources of odor emissions in small poultry units are production sheds, chicken manure and the mortality composting unit. Among the substances generated are hydrogen sulfide and ammonia. The objective of this work was to evaluate a biofilter built with eggshells, pumice stone and coconut activated carbon, to control these gases. A random factorial design of two treatments was proposed with a control or control sample and another from the biofilter at an experimental scale under uncontrolled conditions. To observe the removal efficiency of the biofilter, measurements were made with electrochemical gas sensors MQ 136 and MQ 137 and for temperature and humidity the DHT11 sensor in conjunction with the Arduino microprocessor, this was programmed to record data repetitions every five minutes during a hour daily, in a period of twelve discontinuous days of thirty-seven days of the experiment. The data were analyzed in the R Studio programming package with representation in boxplot of the results of the biofilter with removal of 100% ammonia and 50 % hydrogen sulfide. Regarding humidity and temperature, no major difference was found between the two samples. It was possible to conclude that the biofilter allows to significantly reduce gaseous effluents, serving as an alternative for small poultry farms that need to reduce the emission of gases and do not have the necessary capital to implement a more

¹ Universidad de Manizales. Facultad De Ciencias Contables, Económicas Y Administrativas. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Manizales. Colombia. Correspondencia: libia_baos@outlook.com

² Universidad de Manizales. Facultad De Ciencias Contables, Económicas Y Administrativas. Doctorado en Ciencias Químicas. Magister En Ciencias Químicas. Licenciado en Biología y Química. Manizales. Colombia. Correo wmurillo@umanizales.edu.co

efficient system and contributes to the research field that highlights the relevance of continuing to inquire about environmentally sustainable proposals.

KEY WORDS: Emissions, Arduino, Electrochemical Sensors, Poultry, Composting, Biocontrol, Adsorption

RESUMEN

Las principales fuentes de emisiones de olores en las pequeñas unidades avícolas son los galpones en producción, la gallinaza y la unidad de compostaje de la mortalidad. Entre las sustancias generadas se encuentran el ácido sulfhídrico y el amoníaco. El objetivo de este trabajo fue evaluar un biofiltro construido con cáscaras de huevo, piedra pómez y carbón activado de coco, para controlar estos gases. Se planteó un diseño factorial al azar de dos tratamientos con una muestra testigo o control y otra del biofiltro a escala experimental bajo condiciones no controladas. Para observar la eficiencia de remoción del biofiltro se realizaron mediciones con sensores de gas electroquímicos MQ 136 y MQ 137, y para la temperatura y humedad el sensor DHT11, en conjunto con el microprocesador Arduino. Este fue programado para registrar repeticiones de datos cada cinco minutos durante una hora diaria, en un período de doce días discontinuos de treinta y siete días del experimento. Los datos fueron analizados en el paquete de programación R Studio con representación en boxplot de los resultados del biofiltro con remoción de amoníaco del 100 % y del ácido sulfhídrico de 50 %. Respecto a la humedad y la temperatura no se encontró mayor diferencia entre las dos muestras. Se pudo concluir que el biofiltro permite disminuir de manera significativa los efluentes gaseosos, sirviendo como una alternativa para pequeñas granjas avícolas que requieren disminuir la emisión de gases y no cuentan con el capital necesario para implementar un sistema más eficiente y aporta en el campo investigativo que destaca la relevancia de seguir indagando sobre propuestas ambientalmente sostenibles.

PALABRAS CLAVES: Emisiones, Arduino, Sensores electroquímicos, Avicultura, Compostaje, Biocontrol, Absorción.

INTRODUCCIÓN

Las principales fuentes de generación de olores en las pequeñas unidades avícolas se presentan en los galpones de producción, la gallinaza y la unidad de compostaje para el manejo de la mortalidad de aves. (De la Cruz, *et al.*, 2020)

La formación de los olores se debe a los afluentes gaseosos propios de la actividad avícola, los cuales son liberados de forma natural a partir de la descomposición de material orgánico de las aves. En este caso, se produce el amoníaco (NH_3) que es un gas irritante y oloroso. Su carácter alcalino lo hace una sustancia reactiva, que además de generar olores ofensivos está catalogada como peligrosa por su toxicidad. (Ramos, *et al.*, 2018; Boggia, 2019)

En suma a la liberación de amoníaco, otra sustancia producida es el ácido sulfhídrico (H_2S), el cual es un gas incoloro, altamente inflamable y explosivo y, se caracteriza por un olor a huevos podridos (Torres, *et al.*, 2020), que puede ser detectable a concentraciones entre 0.0005 y 0.3 partes por millón (ppm), es decir, que es un olor altamente perceptible, incluso en concentraciones muy bajas. Según lo estipulado por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades- ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2014) este umbral del olor es mucho más bajo al establecido por la Agencia de Protección Ambiental-EPA de 20 ppm. (Organización Panamericana De La Salud y Ministerio De Salud Y Protección Social, 2012).

Aunque esta sustancia no se encuentre dentro de las sustancias tóxicas o represente un riesgo para la salud humana, su liberación de gases precursores de olores trae como consecuencia una dispersión a grandes distancias, dando lugar a procesos de acidificación de los suelos, eutrofización de los cuerpos de agua cuando reaccionan con el aporte de nutrientes y óxidos de nitrógeno y azufre, además, al deterioro a la calidad de aire localizado (Ruíz, *et al.*, 2019). Teniendo en cuenta estos fenómenos que se presentan y no han sido tratados de manera eficiente para la preservación ambiental, en esta investigación se consideró hacer un seguimiento y control ambiental a la emisión de gases en espacios de actividades avícolas.

Para controlar las emisiones de olores, se han empleado los programas de las buenas prácticas ambientales para el sector avícola. (Caicedo, 2017). Sin embargo, cuando la frecuencia, intensidad y duración del olor va en aumento, se recomienda utilizar tecnologías fisicoquímicas para eliminar o a minimizar el impacto odorífero (Keck, *et al.*, 2018), aunque su eficiencia de remoción es alta, requieren contar con la inversión inicial de capital para la adquisición de algunos de estos equipos, además de asumir los costos operacionales del mantenimiento de maquinaria, personal calificado, recibos de energía y agua. Si bien es cierto que son excelentes tecnologías, resulta claro que son inviables estas alternativas por economía y operatividad para las pequeñas unidades pecuarias avícolas. (Núñez, *et al.*, 2020)

Contemplando la inviabilidad del uso de este tipo de sistemas y tecnologías, cabe considerar, por otra parte, la tecnología de tratamiento biológico para la eliminación de olores, realizada a través de la

biofiltración con el uso de microorganismos: principalmente bacterias y hongos que cuenten con la capacidad de oxidar aeróbicamente compuestos orgánicos y olores de componentes menos contaminantes como CO₂, agua y biomasa. Esta alternativa presenta ventajas económicas, en la efectividad de la remoción de olores y frente al impacto ambiental al abordar este problema presente en el tratamiento de las pequeñas avícolas. (Gallego Alarcón & García, 2017; Melse & Hol, 2017; Yue Wang, 2019; Parseh, *et al.*, 2020)

Teniendo en cuenta la tecnología de tratamiento biológico, este trabajo investigativo propuso construir un biofiltro con cáscaras de huevo, carbón activado de coco y piedra pómez, para prevenir la formación de gases de ácido sulfhídrico y amoníaco (Han, *et al.*, 2020), de una manera económica y ambientalmente sostenible.

Con el fin de encontrar una herramienta que le permitiera a los pequeños avicultores cumplir con las normas ambientales de las sustancias causantes de olores ofensivos, además de fomentar la continuidad de su actividad productiva mientras se reduce el impacto ambiental, se hizo uso de la plataforma Arduino, la cual cuenta con un hardware abierto y para las mediciones, se utilizaron los sensores electroquímicos MQ 136 para el ácido sulfhídrico, el MQ137 para el amoníaco y el DHT11 para humedad y temperatura, con suficiente sensibilidad para determinar concentraciones bajas en partes por mil millones.

MATERIALES Y MÉTODOS

En primer lugar, se realizaron las mediciones de emisión de gases de H₂S y amoníaco NH₃ y de temperatura y humedad; en segundo lugar, se elaboró el biofiltro y en tercer lugar, se analizó la información y se sistematizó con la ayuda de herramientas digitales.

1. MEDICIONES

La medición de los gases de H₂S y NH₃ se realizó con sensores electroquímicos MQ-137 y el MQ-136 (Lejarza, 2017; Petric, *et al.*, 2019) mientras la temperatura y humedad fueron tomadas con el sensor combinado digital DHT11, el cual fue conectado a un módulo de acople para microprocesador Arduino marca AOSONG electronics y a un emulador de terminal PUTTY de licencia libre. Luego se ingresó la IP SSH y el puerto serial 886, dejándolo calentar durante 24 horas antes de empezar a transcribir los datos obtenidos del microprocesador hasta el ordenador con sistema operativo Windows. Las muestras se tomaron en la jornada del medio día con el fin de mantener condiciones de referencia de (25 °C y 760 mm

Hg) para las sustancias de olores de los niveles permisibles de calidad del aire de la resolución 2087 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

El gas se propaga hacia el sensor a través de una membrana hasta llegar al electrodo de trabajo. que pueden llegar a medir de 0 hasta 1000 ppm, los cuales funcionan con un voltaje de alimentación de $5V \pm 0.1$ y con una resistencia interna de $31\Omega \pm 5\%$ de tolerancia, y su corriente máxima puede llegar hasta los 800mW. (HANWEI ELECTRONICS CO., 2020b) Para la detección de la humedad y temperatura se utilizó el sensor DHT11 de marca Aosong. El fabricante recomienda mantener condiciones ambientales de $20^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ y la humedad en $65\% \pm 5\%$ (Lejarza Lasuen, 2017).

2. ELABORACIÓN DEL FILTRO

Para la construcción del biofiltro se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla N 1. Materiales empleados para la elaboración del biofiltro (Baos, 2021).

Materiales usados (g)	Tratamientos	
	T1	T2
Capa de fondo de gallinaza	747	747
Masa de la gallina	1434	1434
Capa de gallinaza para cubrimiento	2322	2338
Cáscaras de huevo	0	1362
Piedra pómez	0	682
Carbón activado de coco	0	683

Se utilizó polipropileno de forma cilíndrica de 22 litros con una altura total de 38.6 cm y una altura efectiva de 24 cm. El soporte se compuso en la primera capa, de las cáscaras de huevo. Para la elaboración de este, se siguieron las instrucciones de Martínez, Sánchez, Erazo, López, & Benítez (2017), las cuales consistían en dejar secar las cascaras a condiciones ambientales durante 4 días y luego triturarla para el 50 % del biofiltro. (Joshi *et al.*, 2018).

Para elaborar la segunda capa, se utilizó la piedra pómez en un 25 % del filtro, finalmente en la tercera capa, se utilizó el carbón activado de coco en un 25 % del filtro, correspondiente a las cantidades descritas en la tabla No.1. Posteriormente, en el fondo del polipropileno se adicionó la gallinaza de procedencia de una granja biosegura de producción de huevos. La muestra testigo o blanco se nombró T1 y la del biofiltro T2.

Para la última capa se realizó un cubrimiento de gallinaza: en la muestra testigo (T1) se usaron 2322 g y para la del biofiltro (T2), 2338 g.

A continuación, se procedió al sellado del recipiente con papel vinipel y una tapa con un espacio vacío de 14 cm, donde se ubicaron los sensores de gases, temperatura y humedad.

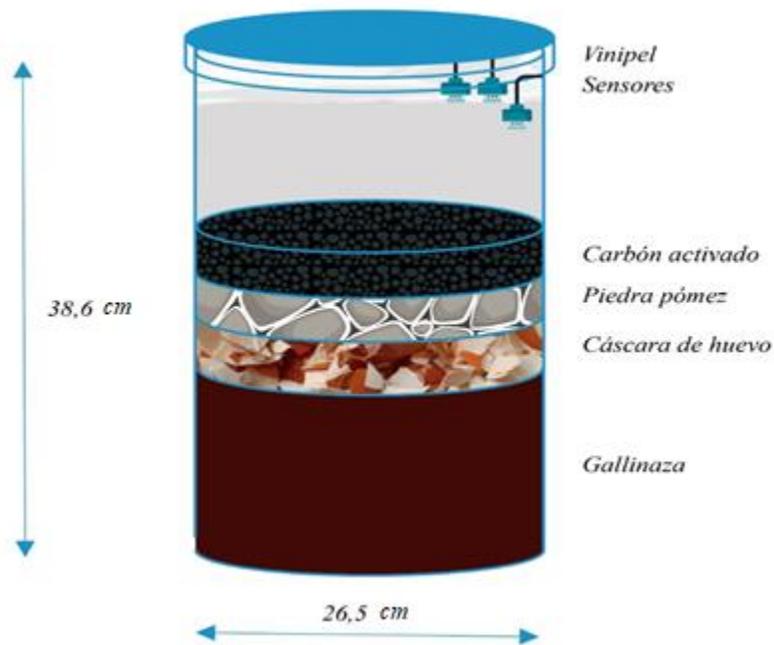


Figura 1. Diseño y Composición del biofiltro.

3. ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN:

Se planteó un diseño factorial al azar DCA (Diseño completamente al azar), con un arreglo factorial de dos tratamientos con una muestra testigo o control y otra del biofiltro a escala experimental bajo condiciones no controladas, pero idénticas para ambas muestras, lo cual permitió observar los resultados obtenidos en un ambiente tradicional de las prácticas avícolas y en un ambiente modificado por los efectos del biofiltro.

Para el pesaje se utilizó un equipo balanza digital de la marca Electronic kitchen scale SF-400 que contaba con una capacidad 7000 g y un sistema de sensor de galgas extensométricas. La muestra testigo o blanco se nombró T1 y para el biofiltro T2.

Los tres sensores fueron conectados, a un módulo de acople para microprocesador Arduino, de prototipo de código abierto y preensablado. Se programó con el “*Arduino Programming Language*”, el cual se descarga gratuitamente en la página web oficial. (Srivastava, *et al.*, 2018; Najmurokhman, *et al.*, 2018)

El microprocesador Arduino, se programó para registrar datos cada 3 minutos, tomando como base un periodo de muestreo de 1 hora diaria. Los registros se tomaron en tres tiempos: el primer registro fue a los primeros 7 días, el segundo a los 25 días y en tercero se realizó durante los últimos 5 días del experimento, completando así, un total de 37 días discontinuos en el período de enero a febrero de 2021.

Las muestras se tomaron en la jornada del medio día con el fin de mantener condiciones de referencia de (25 °C y 760 mm Hg) establecidas en la Resolución 2087 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, para las sustancias o gases precursores de olores para las actividades pecuarias. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013)

Para poder evaluar la dispersión de gases generados por la mortalidad de aves, se utilizaron pollos muertos de la raza lohmann White LSL de 83 semanas con un peso de 1434 g que fueron recolectados de una pequeña granja biosegura de producción, ubicada en el departamento de Cundinamarca. Fueron entregadas todas las aves muertas en el período de esos dos meses por parte de los propietarios con el fin de contribuir a la investigación, y en general, estas aves fallecieron tras cumplir sus funciones productoras.

Para transmitir de la tarjeta electrónica del Arduino se utilizó un emulador de terminal PuTTY de licencia libre; luego se ingresó la IP SSH y el puerto serial 886; antes de empezar a transcribir los datos obtenidos del microprocesador hasta el ordenador con sistema operativo Windows para ser organizados en el programa estadístico Excel 2010. Con el software de análisis estadístico R estudio, se evaluó la muestra del biofiltro para comparar con la muestra testigo con gráficos multivariados y el boxplot. (Salim, Gopal, & Ayub, 2018).

A partir de los resultados obtenidos de las mediciones con los sensores electroquímicos MQ-137 y MQ-136, se evaluó la calidad de aire de la muestra testigo y la del biofiltro a través de gráficos multivariados y el boxplot generados con el software de análisis estadístico R estudio. Para realizar esta evaluación, se hizo uso de la ecuación de promedio aritmético, la cual permitió determinar la relación de la concentración del contaminante en un período de tiempo promedio.

Promedio aritmético: Promedio de todos los n datos recolectados en determinado período de tiempo.

$$(C_{promedio})_j = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i)}{n} \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad (\text{Ec 1})$$

Donde:

(C_{prom})_j: Concentración promedio del período de tiempo *j*

$\sum_{i=1}^n (C_i)$: Suma de los n datos de concentración del contaminante *i* obtenido en el período de tiempo

n: Cantidad de datos obtenidos en el período de tiempo *j*

Evaluación del rendimiento del biofiltro

La eficiencia del biofiltro se evaluó utilizando la ecuación 2 (Gallego, *et al.*, 2017; Parseh, *et al.*, 2020):

$$RE(\%) = \left(\frac{C_i - C_o}{C_i} \right) \times 100 \quad (\text{Ec 2})$$

RE = Eficiencia de remoción (%).

C_i = Concentración inicial del experimento.

C_o = Concentración final.

En la ecuación 3, Para hacer conversión de unidades de concentración de partes por millón (ppm), a microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) se aplicará la siguiente ecuación de la Resolución 1208 de 2003 (Alcaldía de Bogotá, 2003):

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = \frac{\text{ppm} * \text{PM}}{24.5} * 10^3 \quad (\text{Ec 3})$$

Donde: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ = Concentración del contaminante por peso por unidad de volumen de aire.

ppm = Concentración del contaminante por volumen por unidad de Volumen de aire.

PM = Peso molecular del agente contaminante conocido

24,5 = volumen de un kmol en m³/kmol a temperatura de 298,15 K y presión de 101,3 kpa

RESULTADOS

Para efectos de esta investigación, las concentraciones a ser controladas para las unidades pecuarias según la Resolución 2087 de 2014, la cual menciona que para el H₂S, la concentración es de 7 (μg /m³) o de 5.02 (ppm) y para el NH₃ es de 91 (μg /m³) o de 130,72 (ppm). Se realizó la conversión aplicando la ecuación 3, ya que los valores reportados por los sensores arrojaron en ppm, que es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

En la tabla No 2. Se observaron niveles del ácido sulfhídrico de +/-7 (μg /m³), mientras para el amoníaco de +/-91 (μg /m³), dando cumplimiento del 50 % y del 100% respectivamente, en el **T2**.

Tabla No. 2. Valores comparados con la Resolución 2087 de 2014

Fechas	Biofiltro-T2				Muestra control o testigo-T1			
	Cumplimiento normativo Nivel máximo permisible de Sulfuro de hidrogeno 7 (μg /m ³)	(μg /m ³) (H ₂ S)	Nivel máximo permisible de amoníaco 91 (μg /m ³)	(μg /m ³) (NH ₃)	Cumplimiento normativo Nivel máximo permisible de Sulfuro de hidrogeno 7 (μg /m ³)	(μg /m ³) (H ₂ S)	Nivel máximo permisible de amoníaco 91 (μg /m ³)	(μg /m ³) (NH ₃)
16-ene	no cumple	9,11	cumple	5,31	no cumple	8,14	cumple	4,92
17-ene	no cumple	10,99	cumple	7,41	no cumple	11,51	cumple	7,87
18-ene	no cumple	21,01	cumple	12,12	s.f.	0,00	s.f.	0,00
19-ene	cumple	1,30	cumple	1,41	s.f.	0,00	s.f.	0,00
20-ene	cumple	0,64	cumple	0,65	Cumple	0,78	cumple	0,73
21-ene	cumple	1,95	cumple	1,48	Cumple	4,19	cumple	3,03
22-ene	cumple	2,98	cumple	1,64	no cumple	50,35	cumple	8,58
16-feb	cumple	3,48	cumple	5,02	no cumple	36,18	cumple	8,22
17-feb	no cumple	39,98	cumple	2,85	no cumple	78,90	cumple	26,41
18-feb	no cumple	20,62	cumple	7,64	no cumple	82,39	cumple	26,49
21-feb	no cumple	10,41	cumple	0,77	no cumple	182,87	no cumple	93,36
22-feb	cumple	3,59	cumple	2,25	no cumple	656,18	no cumple	133,15

Los valores presentados en 0, se descartaron debido a que se presentaron por las fallas en la energía eléctrica, lo que ocasionó una alteración en los sensores electroquímicos. Por tal razón, se excluyeron del cálculo de los promedios, desde el primer nivel de validación.

Los promedios de los datos recolectados durante una hora, se ajustaron en el programa Excel y se presentan en la tabla No 3.

Tabla No 3. Datos recopilados en los sensores MQ136 y MQ137 y Arduino DT11.

Fechas	$(\mu\text{g} / \text{m}^3)$ (H_2S)		$(\mu\text{g} / \text{m}^3)$ (NH_3)		Humedad %		Temperatura °C	
	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1
16-ene	9,11	8,14	5,31	4,92	54,35	54,03	18,00	18,00
17-ene	10,99	11,51	7,41	7,87	58,91	59,55	17,45	17,55
18-ene	21,01	0,00	12,12	0,00	61,53	92,00	12,77	16,00
19-ene	1,30	0,00	1,41	0,00	63,73	92,00	17,00	16,93
20-ene	0,64	0,78	0,65	0,73	66,44	65,81	17,19	17,09
21-ene	1,95	4,19	1,48	3,03	67,72	67,27	17,86	17,22
22-ene	2,98	50,35	1,64	8,58	70,60	91,46	18,02	15,46
16-feb	3,48	36,18	5,02	8,22	72,56	72,95	16,01	13,88
17-feb	39,98	78,90	2,85	26,41	84,18	83,67	15,80	16,07
18-feb	20,62	82,39	7,64	26,49	89,01	85,89	16,84	17,21
21-feb	10,41	182,87	0,77	93,36	89,84	85,52	16,35	16,99
22-feb	3,59	656,18	2,25	133,15	89,84	85,52	16,35	17,00

Con base en la Tabla No 3, se logró observar que el valor mínimo de H_2S en **T2**, registrado fue de $\pm 0,64$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) y el valor máximo fue de $\pm 39,98$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$). La mediana se mantuvo en $\pm 6,35$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$), y la media en $\pm 10,48$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$). En el caso de **T1**, el valor más bajo fue de $\pm 0,78$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$), y el valor más alto fue de $\pm 656,18$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$). La mediana se mantuvo en $\pm 23,84$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) y la media en $\pm 92,62$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$). Lo cual quiere decir que en ambos casos se presentaron valores atípicos muy altos, teniendo en cuenta los valores establecidos en la Resolución 2087 de 2014, los cuales no deben superar ± 7 ($\mu\text{g} / \text{m}^3$), pero también cabe resaltar que los niveles de H_2S están menos presentes en **T2**, lo que quiere decir que el biofiltro sí contribuyó a la mitigación de este gas.

Así mismo, la emisión de NH_3 del **T2**, presentó un valor mínimo de $\pm 0,65$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) y un valor máximo de $\pm 12,12$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) sin ningún valor atípico. En el caso del **T1**, el valor mínimo registrado fue de $\pm 0,73$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$), y el valor máximo fue de $\pm 93,36$ y $\pm 133,15$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$), los cuales son considerados como valores atípicos. La mediana se mantuvo en $\pm 2,5$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) y la media en $\pm 4,04$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$).

En la Tabla No. 2 también se describe la humedad de **T2**, reportando el valor mínimo de $\pm 54,35\%$ y máximo de $\pm 90,49\%$. La mediana es de $\pm 69,16\%$ y la media en $\pm 4,90\%$. La humedad de **T1** presentó el valor mínimo de $\pm 54,03\%$ y el máximo de $\pm 92,0\%$. La mediana es de $\pm 84,59\%$ y la media en $\pm 4,96\%$. Ninguna medida presentó resultados atípicos. Los valores de humedad fueron superiores a los reportados a la hoja de datos del fabricante del DTH11- Arduino, donde las condiciones ambientales de detección normal debieron estar entre $65\% \pm 5\%$. Sin embargo, funcionaron sin inconvenientes para ambos sensores.

En este sentido, la humedad si influye en mayor emisión de amoníaco y de ácido sulfhídrico, asociados con la descomposición anaerobia de la materia orgánica, sin embargo, las concentraciones detectables de los gases, se mantienen dentro del límite permisible de la Resolución 2087 de 2014.

En la Tabla No. 2 se describe la temperatura de **T2** con valor mínimo de $\pm 12,77$ °C y un valor máximo de $\pm 18,32$ °C. La mediana es de $\pm 23,84$ °C y la media en $\pm 16,52$ °C, presentando un valor atípico en el valor mínimo. La temperatura de **T1**, con valor mínimo de $\pm 13,88$ °C y un valor máximo de $\pm 18,0$ °C. La mediana es de $\pm 16,99$ °C y la media en $\pm 16,55$ °C, siendo un valor atípico del valor mínimo. Presentándose valores similares entre las dos muestras y encontrándose, dentro de la calibración de funcionamiento del fabricante para una detección normal de $20^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$.

Por otro lado, en la figura 2 (a-b) se representan las concentraciones de amoníaco y ácido sulfhídrico, tanto en **T1** como en **T2**. Se observó que a medida que se desarrollan las pruebas, hay un incremento considerable para **T1**, mientras que en **T2** hay un control efectivo en la emisión de gases.

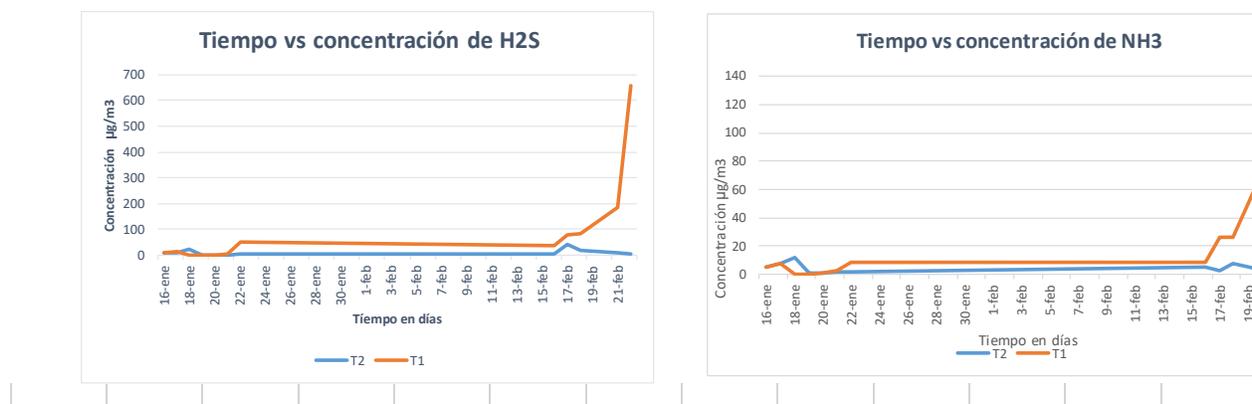


Figura 2 (a-b). Valores de la concentración de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el período de tiempo estudiado.

Resultados de los autores Van der Heyden, Demeyer, & Volcke (2015) demuestran una remoción de amoníaco entre un 38 a 74 % con el uso de un biofiltro con astillas de madera. Los autores resaltan que esos resultados se pueden obtener al contar y asegurarse de un correcto funcionamiento de los equipos, además, hay que tener en cuenta la influencia de la humedad en el estudio realizado (Melse & Hol, 2017). Sin embargo, hasta ahora, no se reporta en la literatura científica, el estudio de biofiltros con las combinaciones propuestas en este trabajo, razón por la cual resulta imposible realizar comparaciones y evaluaciones significativas entre los resultados obtenidos por otros autores y la investigación realizada.

Un ejemplo tradicional para la mitigación de estos gases es el tratamiento físico-químico, donde se utilizan los procedimientos de incineración, absorción, condensación y membranas, por ejemplo, para la eliminación de ácido sulfhídrico, existen tecnologías rápidas y eficientes, pero son de difícil acceso debido a los altos costes de la inversión inicial en los equipos necesarios para realizar estos procesos y a los frecuentes reemplazos que se necesitan para alcanzar a remover las altas cargas (Víctor & Alfredo, 2016).

Frente a este tipo de mecanismos, el biofiltro presenta varias ventajas, como su valor económico y que además de garantizar la reducción del impacto ambiental que causan los gases producidos por las actividades avícolas, también es una solución en la que se hace uso de recursos que pueden ser reutilizados para este fin, como las cáscaras de huevo y, la producción de estos recursos no genera mayor impacto ambiental.

CONCLUSIONES

El biofiltro con carbón activado de cáscaras de coco, piedra pómez y las cáscaras de huevo, contribuyó a mitigar las concentraciones de los gases precursores de olores, hasta el punto de mantener por debajo de los límites permisibles de la resolución 2087 de 2014. En el caso del NH_3 se obtuvo un cumplimiento del 100 %, mientras para el H_2S , solo del 50 %. Teniendo en cuenta estos resultados, se concluye que el uso de biofiltro puede tener utilidad para mitigar los olores ocasionados por la actividad avícola a menor escala, más no como un sistema integral de eliminación de gases. Las mediciones obtenidas con los sensores electroquímicos MQ136, MQ137 y el DT11 Arduino permitieron obtener el comportamiento de las variables de los gases precursores de olores de una manera cuantitativa de forma económica.

Este trabajo permitió observar la importancia de tener en cuenta para futuros estudios, la porosidad y el orden de ubicación en el biofiltro de los tres materiales del biofiltro, para garantizar una mayor remoción del ácido sulfhídrico, y así dar cumplimiento a la normatividad ambiental.

REFERENCIAS

- AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES. (2014, octubre). Resumen de Salud Pública. Acido sulfhídrico.
https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs114.pdf
- BOGGIA, ANTONIO; PAOLOTTI, LUISA; ANTEGIOVANNI, PATRICH; FAGIOLI, FILIPPO- FIUME; ROCCHI, LUCIA. (2019) Managing ammonia emissions using no-litter flooring system for broilers: Environmental and economic analysis. Environmental Science & Policy. V. 101. P. 331-340. ISSN 1462-9011.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.09.005>.
- ARANIBAR-LÓPEZ, CRISTINA; MARIN-GONZALES, ENRIQUE; RENDÓN-ZAPATA, EDITH. (2020). Desarrollo de una nueva unidad de negocio para la venta especializada y servicio posventa de abono orgánico, procedente del compostaje de gallinaza. Universidad ESAN.
https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/2049/2020_MATP_181_02_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ARRIETA-LOZANO, JUAN-JOSÉ. (2019) Modelación de sistemas de eliminación de olores ofensivos generados por H_2S en aguas residuales mediante adsorción con carbón activado. Investigación E Innovación En Ingenierías. V. 7. n. 1. p.47-59.

<https://doi.org/10.17081/invinno.7.1.3020>

- AUQUILLA-TIXI, ERICA-SILVANA. (2019) Compostaje de gallinaza proveniente de la granja avícola la Fernandita de la ciudad de Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. P. 1-75.
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10803>
- CAICEDO-OTERO, ALEJANDRA. (2017) Guía de buenas prácticas ambientales en las plantas de beneficio, desprese y harinas en una empresa avícola, ubicada en el municipio de Guadalajara de buga en el departamento en el municipio de Guadalajara de buga en el departamento del Valle del Cauca. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería ambiental, Tuluá - Valle del Cauca. 1-225
<http://dspace.uceva.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/713/TRABAJO%20DE%20GRADO%2C%20ALEJANDRA%20CAICEDO..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CASTRO- ESPINOZA, VERONICA (2019) Propuesta para el manejo de aves muertas mediante la implementación de compostaje en el galpón experimental de la Facultad de Ciencias Veterinarias – UMSS. 6. p. 1-43
<http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/bitstream/123456789/20768/1/VERONICA%20CASTRO%20ESPINOZA.pdf>
- DÁVILA-MARTINEZ, TATIANA- ANDREA; SANCHEZ-PEÑA, NAZLY- EFREDYS; ORDOÑEZ-ERAZO, DARWIN-ANDRES; MUÑOZ-LÓPEZ, JEFFERSON-FABIAN; BENITEZ-BENITEZ, RICARDO. (2017, Enero _ Junio). Evaluación de residuos agroindustriales como biofiltros: Remoción de CR (VI) en efluentes de curtiembres sintéticos . Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial V. 1. p. 49-58.
<http://dx.doi.org/10.18684/BSAA>
- DE LA CRUZ- BALÓN, AIDA; CALDERÓN, JOSE; AVEIGA-ORTIZ, ANA MARIA; MENDOZA- DE LA CRUZ, MAILIE. (2020, enero-junio). Bioestabilización de excretas avícolas mediante microorganismos eficientes para el control de la contaminación ambiental. La Técnica: Revista De Las Agrociencias. ISSN 2477-8982(23), N. 23. P. 73-94. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i23.1757
- GALLEGO-ALARCÓN, IVAN; GARCÍA- PULIDO, DAURY (2017). Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena. Tecnología y Ciencias del Agua. V 8. n. 1. P. 81-93.
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-06>
- HAN, YUNPING; WANG, YING; CHAI, FENGGUANG, JIAWEI; LIN, LI MA. (2020). Biofilters for the co-treatment of volatile organic compounds and odors in a domestic waste landfill site. Journal of Cleaner Production. V 277.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124012>
- ITZEP- MENDOZA, KEVIN- EMANUEL. (2019) Diseño e implementación de un detector de partículas en el aire con control y acceso remoto empleando una computadora de placa reducida a través de una red local. Universidad de San Carlos de Guatemala.Facultad de Ingeniería.Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/13895/1/Kevin%20Emanuel%20Itzep%20Mendoza.pdf>
- JOSHI, NIRAV; DA SILVA, LUÍS F; JADHAV, HARSHARAJ S.; SHIMIZU, FLAVIO M.; SUMAN, PEDRO H.; J M'PEKO, EAN-CLAUDE; ORNAGHI- ORLANDI, MARCELO; GIL-SEO, JEONG; V MASTELARO, ALMOR R.; OLIVEIRA, N. (2018) Yolk-shelled ZnCo2O4 microspheres: Surface properties and gas sensing application. Sensor and Actuators B: Chemical. V. 257. P. 906-915. ISSN 0925-4005
<https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.11.041>

- KECK, MARGRET; MAGER, KERSTIN; WEBER, KATHARINA; KELLER, MARKUS; FREI, MATTHIAS; STEINER, BEAT; SCHRADE, SABINE. (2018). Odour impact from farms with animal husbandry and biogas facilities. *Science of The Total Environment*. V 645. P 1432-1443. ISSN 0048-9697
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.182>.
- LEJARZA-LASUEN, LANDER. (2017) Gas Data Acquisition using Arduino. University of Gävle, Faculty of Engineering and Sustainable Development, Department of Electronics, Mathematics and Natural Sciences, Electronic.
<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1117729&dswid=8488>
- MELSE, ROLAND W; HOL, JOHANNA M.G. (2017). Biofiltration of exhaust air from animal houses: Evaluation of removal efficiencies and practical experiences with biobeds at three field sites. *Biosystems Engineering*. V 159 P 59-69. (ISSN 1537-5110) <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.04.007>.
- MENG-FEI, H., WANG, C., NAN-YANG, Y., YUN-FEI, L., XU-RUI, H., & ER-HONG, D. (2021). Determination of filter bed structure characteristics and influence on performance of a 3D matrix biofilter in gaseous chlorobenzene treatment. *Biochemical Engineering Journal*, 165.
<https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107829>.
- MOYA-ANDINO, H. P. (2018). Análisis del ladrillo triturado como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del centor de faenamiento Tena, en la ciudad del Tena, Provincia de Napo. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil.
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27800>
- NAJMURROKHMAN, ASEP; KUSNANDAR, KUSNANDAR; AMRULLOH, AMRULLOH. (2018, enero). Prototipe Pengendali Suhu Dan Kelembaban Untuk Cold Storage Menggunakan Mikrokontroler Arduino Atmega328 Dan Sensor Dht11. *Jurnal Teknologi*, V. 10. N.1. P. 73-82.
<https://doi.org/10.24853/jurtek.10.1.73-82>
- NÚÑEZ, MARLON HOMERO; GARCÍA-BERFON, LUIS-VICENTE; LÓPEZ-DE-GARCÍA, CARMEN-MILENA. (2020). Evaluación de la remoción de sulfuro de hidrógeno de biogás empleando arcilla ecuatoriana modificada con sodio, zinc y cobre y adaptada morfológicamente. *Avances: Investigación en Ingeniería*. V. 17. N. 1. P. 1-13.
<https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6110>
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD; MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. (2012). Lineamiento para la vigilancia sanitaria y ambiental del impacto de los olores ofensivos en la salud y calidad de vida de las comunidades expuestas en áreas urbanas. Ministerio de salud y protección social.
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/impacto-olores-ofensivos-salud.pdf>
- PALACIO-HOLGUÍN, SEBASTIAN; TASCÓN-TERRANOVA, VICTOR-ANDRES; PALACIOS-ERAZO, YINETH- ALEXANDRA. (2019). Comparación de parámetros productivos de las líneas genéticas Hy-line Brown, Isa Brown, Babcock Brown en granja avícola la reserva. Published by Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira
<http://hdl.handle.net/11059/11383>
- PARSEH, IMAN; HAJZADEH, YAGHOUB; JAAFARZADEH, NEMATOLLAH; GOUDARZI, GHOLAMREZA; SHAKERINEJAD, GHODRATOLLAH; BADEENEZHAD, AHAMD;

- MENGELIZADEH, NEZAMADDIN; FALLAHIZADEH, SAEID. (2021). Removal behavior of gaseous furfural using a biofilter packed with perlite, ripe compost, and oak woodchips. *Process Safety and Environmental Protection*. V. 149. P. 135–143. ISSN 0957-5820, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.10.039>
- PETRIC, M., DODIGOVIĆ, F., GRČIĆ, I., MARKUŽIĆ, V., RADETIĆ, L., & TOPIĆ, M. (2019, 07 16). Ammonia concentration monitoring using Arduino platform. Retrieved 01 31, 2021 from <https://hrcak.srce.hr/222947>
- DODIGOVIĆ, FILIP; TOPIC, MATEO; RADETIĆ, LUCIJA; MRAKUŽIĆ, PETAR; GRČIĆ, IVANA; PETRIC, MARKO. (2019). AMMONIA CONCENTRATION MONITORING USING ARDUINO. *Environmental engineering*. V. 6. N 1. P. 21-26 <https://doi.org/10.37023/ee.6.1.4>
- RAMOS-RINCÓN, JAIDITH-MARISOL; BERMUDEZ, ANYI; ROJAS, TANIA (2018). Contaminación odorífera: causas, efectos y posibles soluciones a una contaminación invisible. *riaa. Revista de investigación agraria y ambiental*. V. 9. N 1. P. 165-180 <https://doi.org/10.22490/21456453.2053>
- ROSAS-N, ANGELICA; LERDON F., JUAN. (2018, septiembre). Factibilidad de un proyecto avícola para producción de huevos bajo sistema free-range en el sur de Chile. *Idesia (Arica)* V. 36. N. 3. P. 131-140. ISSN 0718-3429. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005001702>
- RUÍZ, KATHERINE; TRILLERAS, JENNY; SANJUANELO, DANNY (2019, octubre/diciembre). Dispersión del amoníaco proveniente de una granja avícola en Santa Bárbara (Cundinamarca, Colombia) y su valoración cualitativa. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. V. 30. N. 4. P. 1443-1455. ISSN 1609-9117 <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i4.15521>
- SALIM, N. R.; GOPAL, A. K.; AYUB, A. F. (2018). Experiential Statistics Learning with RStudio: Study on Students' Engagement. *Journal of Physics: Conference Series*. V. 1132. ISSN:1742-6588 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1132/1/012039>
- SRIVASTAVA, DEEKSHA; KESARWANI, AWANISH; DUBEY, SHIVANI (2018, diciembre). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. V. 5. P. 876-878. Issue: 12. p-ISSN: 2395-0072.
- TORRES-CALDERÓN, SOLEDAD; PAUCAR-PALOMINO, MICHEL-JAZMIN; PAMPA- QUISPE, NOÉ-BENJAMIN. (2020, abril). Adsorción de sulfuro de hidrógeno del biogás mediante virutas de hierro pretratadas para reuso energético. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, V. 1. N. 41. P. 18-29. ISSN 1680-0338 http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000100018
- VAN-DER-HEYDEN, CAROLINE; DEMEYER, PETER; VOLCKE, EVELINE I.P. (2015). Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: State-of-the-art and perspectives. *biosystems engineering*. V. 134. P. 74-93. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.04.002>.
- VÁSCONEZ-VELÁSTEGUI, VICTOR-HUGO; MALDONADO-NARVAEZ, LENIN-RAFAEL. (2017). Análisis de la piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del centro de faenamiento Ocaña del Canton Quero. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27232>

YUE WANG, W. X. (2019). Mitigating ammonia emissions from typical broiler and layer manure management – A system analysis. *Waste Management*, 93, 23-33.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.019>