

Dispersión del amoníaco proveniente de una granja avícola en Santa Bárbara (Cundinamarca, Colombia) y su valoración cualitativa

Dispersion of ammonia from a poultry farm in Santa Bárbara (Cundinamarca, Colombia) and its qualitative assessment

Katherine Ruíz¹, Jenny M. Trilleras^{1,2}, Danny Sanjuanelo¹

RESUMEN

Se hizo un análisis de la dispersión del amoníaco proveniente de una granja avícola en la vereda de Santa Bárbara, municipio de Tena (Cundinamarca, Colombia). Se utilizaron cuatro galpones de ambiente no controlado en el que se hicieron mediciones de las concentraciones de amoníaco en el centro de los galpones y cada 250 m siguiendo las orientaciones de acuerdo con las direcciones cardinales (norte, sur, este y oeste). Las mediciones se hicieron durante un ciclo productivo de 50 días, con tres lecturas al día (08:00, 12:00, 18:00). También se hizo una valoración cualitativa de percepciones sociales a las personas que viven en un radio de 1 km de la granja avícola. Se encontró que las emisiones de amoníaco estuvieron relacionadas con el ciclo reproductivo y no con las horas del día. Así mismo, la concentración de amoníaco estuvo relacionada con la temperatura, pero no con la velocidad del viento. La distancia máxima con concentraciones relevantes de amoníaco fue de 361 m, lo cual no representa una amenaza para la población aledaña; sin embargo, la población percibe impactos a la calidad de vida asociados a olores ofensivos provenientes de la granja.

Palabras clave: amoníaco; dispersión; valoración; percepción; población

ABSTRACT

An analysis of the dispersion of ammonia from a poultry farm was carried out in the village of Santa Bárbara, municipality of Tena (Cundinamarca, Colombia). Four uncontrolled chicken houses were used in which measurements of ammonia concentrations were

¹ Programa de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Ambientales e Ingenierías, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá, Colombia

² E-mail: jetrilleras@udca.edu.co

Recibido: 30 de noviembre de 2018

Aceptado para publicación: 30 de agosto de 2019

made in the centre of the sheds and every 250 m following the orientations according to cardinal directions (north, south, east, west). Measurements were made during a productive cycle of 50 days, with three readings per day (08:00, 12:00, 18:00). A qualitative assessment of social perceptions was also made to people living within a 1 km radius of the poultry farm. It was found that ammonia emissions were related to the reproductive cycle and not to the hours of the day. Also, the concentration of ammonia was related to temperature, but not to wind speed. The maximum distance with relevant concentrations of ammonia was 361 m, which does not represent a threat to the surrounding population; however, the population perceives impacts to the quality of life associated with offensive odours coming from the farm.

Key words: ammonia; dispersion; assessment; perception; population

INTRODUCCIÓN

La producción avícola, aparte de los recursos económicos que generan y su aporte a la seguridad alimentaria de los países, tiene el inconveniente de contribuir a la contaminación del aire (Wood y Heyst, 2016) con gases como el amoníaco, sulfuro de hidrógeno y compuestos volátiles de azufre que son causantes de malos olores (Naseem y King, 2018), los cuales pueden afectar las poblaciones locales (Yao *et al.*, 2018). En Colombia, la producción avícola contribuye con el 50.4% de la proteína animal; sin embargo, se le considera una industria contaminante para el agua, favoreciendo la eutrofización (Méndez *et al.*, 2009), para el aire con producción de olores desagradables (Méndez *et al.*, 2009) y para el suelo por el estiércol excesivo que puede alterar el pH, causar la infiltración de nitratos al subsuelo, así como por la contaminación microbiológica y la acumulación de metales pesados, particularmente por la presencia de sales de hierro y cobre (Méndez *et al.*, 2009). Esta situación puede incidir negativamente en la calidad de vida de la población humana aledaña que depende de estos recursos naturales (Pérez *et al.*, 2005).

Los principales contaminantes atmosféricos provenientes de la avicultura se producen a partir del manejo de la pollinaza o galli-

naza, que es una mezcla de viruta o cascari-lla y excreciones urinarias y fecales de las aves. La reutilización de la pollinaza es una práctica común (Estrada, 2005) por el elevado costo que conlleva su reemplazo y por la dificultad de eliminar las grandes cantidades del residuo generado. Esta práctica favorece el proceso de fermentación de la pollinaza y, por lo tanto, de la emisión de amoníaco en los galpones (Merchán y Quezada, 2013), pudiendo llegar a superar las 50 ppm (Herrera *et al.*, 2013), lo que constituye un riesgo para los trabajadores de las granjas y de las poblaciones cercanas. Se ha determinado que los habitantes que viven en las cercanías de instalaciones animales de carácter industrial sufren de impactos adversos a la salud asociados con olores emitidos por dichas instalaciones (Schiffman *et al.*, 2000).

Las emisiones de amoníaco por parte de las producciones avícolas han sido identificadas como una de las principales preocupaciones para el mantenimiento de la calidad del aire (NRC, 2003). Varios países de América Latina han hecho importantes avances en salud ambiental. Brasil cuenta con áreas de vigilancia desde 2005 (Montekio, 2011), México ha adoptado normas oficiales técnicas para evaluar sus efectos en la salud y los factores de riesgo ambientales (Riojas-Rodríguez *et al.*, 2013), Argentina analiza las consultas por problemas de salud relacionadas con factores ambientales (Huertas, 2015),

y en Colombia se realiza el monitoreo de la calidad del aire para determinar los factores que ocasionan la contaminación del aire (Costa *et al.*, 2007). En este último país, existe la norma de calidad del aire (Resolución 610 de 2010) que establece un umbral de 46.7 ppm ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de amoníaco en el aire (Gaitán y Cárdenas, 2017). No obstante, los estudios en Colombia sobre el amoníaco son escasos y no existe un monitoreo de las concentraciones emitidas, ya que no es considerado como un gas de efecto invernadero.

El objetivo de esta investigación fue analizar la dispersión atmosférica del amoníaco proveniente de una granja avícola en Santa Bárbara (Tena, Cundinamarca) mediante: i) el estudio del comportamiento del amoníaco; ii) el estudio de la relación entre el amoníaco y los factores ambientales; y iii) la relación entre la dispersión del amoníaco y las percepciones sociales de la población de Santa Bárbara.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La región del Tequendama está ubicada al occidente del departamento de Cundinamarca y está conformada por 10 municipios (Anapoima, Anolaima, Apulo, Cachipay, Mesitas del Colegio, La Mesa, Quipile, San Antonio del Tequendama, Tena y Viotá) que basan su subsistencia en la producción ganadera, avícola, agrícola y piscícola (Municipio de Tena, 2015). Tiene una superficie de 55 km^2 , donde el 55% corresponde al área rural, se encuentra a una altitud entre los 800 y 2300 msnm, presenta una precipitación anual entre 1800 y 2300 mm con dos periodos intensos de lluvia en abril y octubre, y una temperatura media de 22°C (Municipio de Tena, 2015).

Los datos para este estudio se obtuvieron de una granja avícola de pollo de engorde ubicada en la vereda Santa Bárbara, munici-

pio de Tena (Figura 1a). La granja avícola encaseta 24 000 aves por lote (cada 50 días, 42 días para sacrificio y 8 días para alistamiento del galpón) y cuenta con 4 galpones entre 819 m^2 y 1188 m^2 , cuyos ambientes no son controlados; es decir, las condiciones internas del galpón, principalmente la temperatura, varía de acuerdo con los factores ambientales externos. La vereda Santa Bárbara presenta una topografía ligeramente quebrada (entre el 15 y 30%), con un estrato de bosque muy húmedo montano bajo (b.m.h.MB) con especies arbóreas de entre 10 y 15 m, y vegetación arbustiva (de 1 a 10 m) y subarbustiva (de 1 a 2 m). La granja se encuentra rodeada por un bosque de robles (*Quercus humboldtii*), alisos (*Alnus acuminata*), arbustos y algunos corredores de encenillo (*Weinmannia sp.*) (CAR, 2008). La vivienda más cercana a la granja está a una distancia 370 m. La población ubicada a 1 km alrededor de la granja es de 75 personas entre niños, adultos y adultos mayores.

Para conocer el comportamiento de la dispersión del amoníaco en el área de estudio se utilizó una aerofotografía pancromática del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) tomada desde 2007 hasta diciembre de 2010 que permite identificar y conocer espacialmente el área de estudio y sus alrededores. A esta imagen se le superpuso una grilla con cuadrículas de $1 \times 1 \text{ cm}$ para obtener las matrices de cobertura, altitud y población en un área de 776 ha para determinar la influencia de estas variables en la dispersión del contaminante. Se seleccionaron 20 puntos de muestreo en total, cubriendo un área de $10\,000 \text{ m}^2$.

Los primeros cuatro puntos de muestreo dentro de la granja se ubicaron en los galpones (Figura 1b, puntos A, B, C, D), los cuales tenían las mismas condiciones de manejo: aves de la línea Ross 308 con edades de 0 a 42 días y dieta basada en alimento balanceado. Se tomaron datos al interior de cada galpón para obtener una medida de la concentración del amoníaco sin la influencia de factores ambientales como la temperatura y el viento.

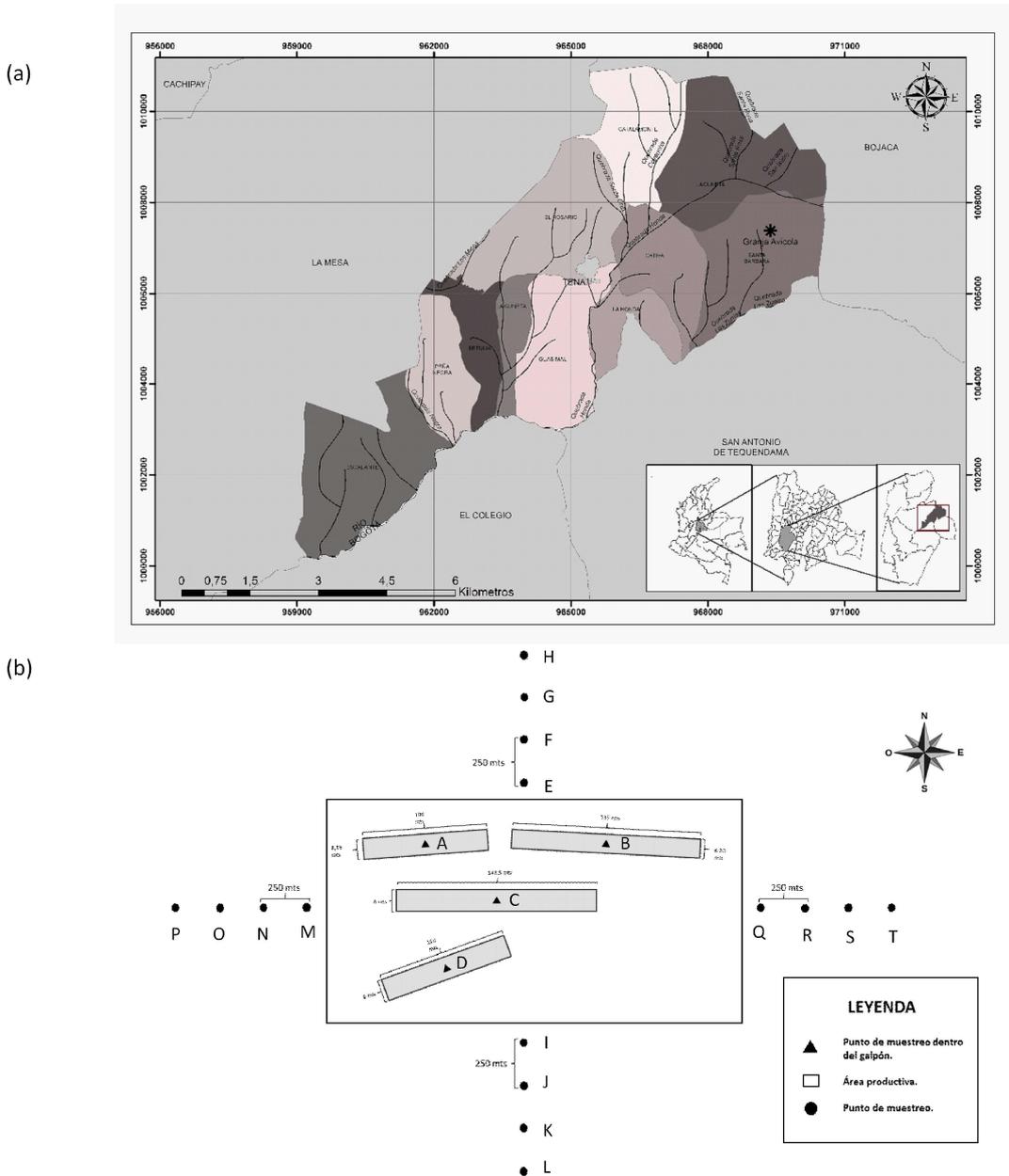


Figura 1. Municipio de Tena. (a) Ubicación de la vereda Santa Bárbara y la granja avícola. (b) Diseño de muestreo

Además, se hicieron mediciones en 16 puntos, cada 250 m a partir del centro de la granja, siguiendo las orientaciones de acuerdo con el sistema de referencia cartesiano (Figura 1b), al norte E, F, G, H; al sur I, J, K, L; al oeste M, N, L, O; y al este Q, R, S, T), cubriendo así los 20 puntos de muestreo. Cada punto de muestreo fuera de la granja fue georreferenciado y se midió el amoníaco

(ppm), la temperatura ambiental (°C) y la velocidad del viento (ft³/min) a una altura de 1 m del suelo. Se hicieron tres registros diarios para estas variables (08:00, 12:00 y 18:00) durante 50 días. El amoníaco se midió con el equipo Gas Alert Extreme NH₃ (BW Technologies) y la velocidad del viento y la temperatura con el equipo meteorológico Kestrel 3000 (Pocket Weather Meter). No

se tuvo en cuenta la dirección del viento, porque no presentó una dirección predominante.

Se realizó una valoración cualitativa de percepciones sociales (Silvestre *et al.*, 2002) para determinar la posible relación entre lo que siente y piensa la población y lo que se puede cuantificar en campo. Las personas entrevistadas fueron seleccionadas teniendo en cuenta los siguientes criterios: que fueran personas mayores de edad, con al menos un año de residencia en la zona, que permanecieran como mínimo cuatro horas en la zona durante el día y que vivieran dentro de un radio de 1 km aledaño a la granja avícola. Previamente se realizó un muestreo piloto en el que se puso a prueba la entrevista con la finalidad de ajustar las preguntas y su duración. La entrevista se aplicó a 40 personas que cumplieron con los criterios de selección. Se documentaron las percepciones sociales asociadas al riesgo por exposición al amoníaco, mediante entrevistas semiestructuradas aplicando cuestionarios autoadministrados basados en la Norma Técnica Colombiana 6012-1 «Efectos y evaluación de los olores. Evaluación psicométrica de las molestias por olores. Cuestionarios» (2015).

Análisis de Datos

Para determinar el comportamiento del amoníaco se realizaron dos boxplot comparativos entre la concentración del amoníaco y la orientación, y la temperatura y la orientación de acuerdo con el sistema de referencia cartesiano con datos obtenidos en la vereda de Santa Bárbara. Por otro lado, para verificar el rango de la variable amoníaco, se realizó el modelamiento a través de semivariograma esférico en los días 1, 16, 34 y 50 en las 3 horas de muestreo, con el propósito de identificar el máximo alcance de correlación espacial que se tiene de acuerdo a los puntos muestreados en campo. Los semivariogramas fueron construidos, con procesamiento en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2018) a partir de las librerías *sp* (Bivand *et al.*, 2013; Pebesma y

Bivand, *s.f*), *rgdal* (Bivand *et al.*, 2018) y *gstat* (Pebesma, 2004; Benedikt *et al.*, 2016).

Para realizar las interpolaciones amoníaco, se consideraron en la composición de mapa, archivos *shapefile* descargados de la página del Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial (IGAC SIG-OT, 2018), del cual se extrajo el mapa departamental de Cundinamarca con subdivisión política a nivel de municipio y vereda. La composición realizada en el software QGIS (QGIS Development Team, 2018) muestra el mapa de área departamental, mapa de área municipal y la parte nororiental que corresponde a las veredas de Laguneta y Santa Bárbara del municipio de Tena. La evolución de la concentración de amoníaco se hizo de acuerdo con el proceso de interpolación vía IDW (*Inverse Distance Weighted*), el cual es un método exacto de interpolación (Monmonier, 1982), que le da mayor peso en la estimación a los valores conocidos cercanos al punto desconocido a través de la función

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^s z_i \frac{1}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{d_i^k}}$$

donde Z_0 corresponde al valor de la interpolación en una coordenada 0 (donde no se tomó información), Z_i corresponde al valor de Z conocido en el punto i , d_i es la distancia entre el punto 0 e i , s es el número de puntos usados para estimar Z_0 (en este caso 20 puntos), k es una potencia conocida (habitualmente se toma en 2, o el cuadrado de la distancia como ponderador).

Para conocer la relación entre la concentración de amoníaco y los factores ambientales (temperatura y viento) se realizó la correlación vía Pearson en el lenguaje R usando la librería *corrgram* (Wright, 2018).

Con la información proveniente de la valoración cualitativa de percepciones sociales, se generó un índice de percepción en escala decimal de acuerdo al tipo de respuesta,

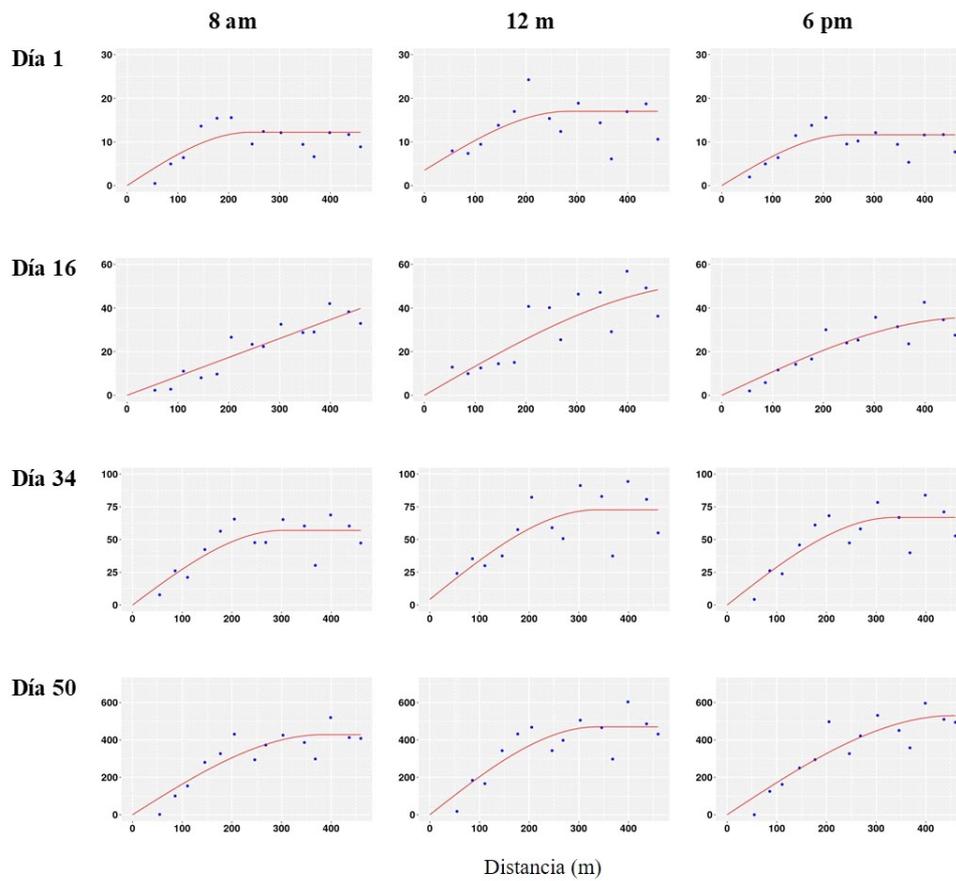


Figura 2. Distancia que alcanza el amoníaco en tres momentos del día y en cuatro fechas en los alrededores de una granja avícola de pollos de engorde en la vereda de Santa Bárbara, Municipio de Tena, Cundinamarca (Colombia)

tomándose en cuenta lo siguiente: en las tres preguntas con respuestas binarias (sí/no) se asignó el valor 1 a las respuestas «Sí» y 0 a las respuestas «No», y en las cuatro preguntas con respuestas multinomiales (varios tipos de valores) con escala creciente de impacto se aplicó el siguiente índice de asignación de «molestia» $I_i = p_i / \max(p)$, donde I_i corresponde al índice de encuestado, P_i es la puntuación asociada a la respuesta del encuestado, y $\max(p)$ es la máxima puntuación para una pregunta. Por último, para la pregunta con respuesta multinomial con escala decreciente se aplicó el siguiente índice

de asignación de «molestia» $I_i = [\max(p) - p_i] / \max(p)$, donde los elementos constitutivos son los mismos de la función anterior y se aplica valor absoluto de la función. El índice de percepciones está asociado a la valoración entre 0 y 1, donde 1 es la máxima valoración registrada, por lo que si el valor es bajo (<0.5) la percepción es baja o nula. Para saber si la respuesta entre índices asociados a cada pregunta tiene nivel de percepción igual o diferente, se utilizó como estadístico de prueba a Kruskal-Wallis. Todos los procedimientos fueron construidos en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2018).

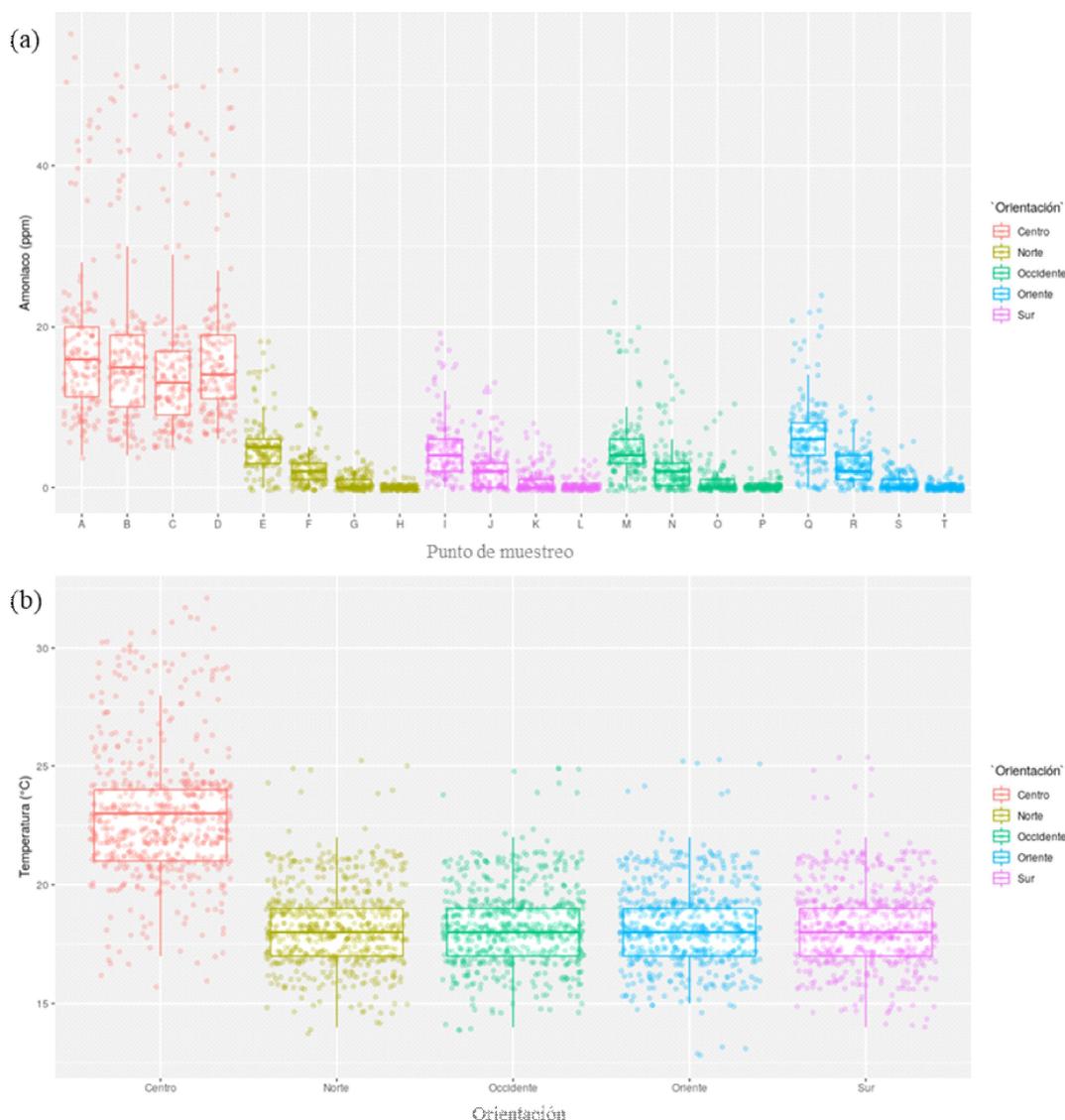


Figura 3. Concentración de amoníaco (a) y temperatura (b) presente en una granja avícola de pollos de engorde en la vereda de Santa Bárbara, Municipio de Tena, Cundinamarca (Colombia), de acuerdo con el sistema de referencia cartesiano (los puntos A, B, C, D corresponden a los ubicados en el centro de cada galpón y los puntos hacia el Norte: E F G H, al Sur : I J K L, al Occidente: M N O P, y al Oriente : Q R S T)

RESULTADOS

Los resultados demuestran que el comportamiento del amoníaco registrado en la granja avícola está asociado con los días del ciclo de producción. La mayor concentración se presentó en los cuatro puntos ubicados en el centro de cada galpón (Figura 1b, puntos

A, B, C, D) y fue disminuyendo conforme se aleja del punto central de cada galpón. Se encontró que este gas puede tener un alcance máximo de 361.1 m a la redonda de la granja avícola (Figura 2). De acuerdo con los semivariogramas (Figura 3), no hubo diferencias significativas entre horas del día, indicando que la dispersión del amoníaco en la atmósfera es independiente de la hora del

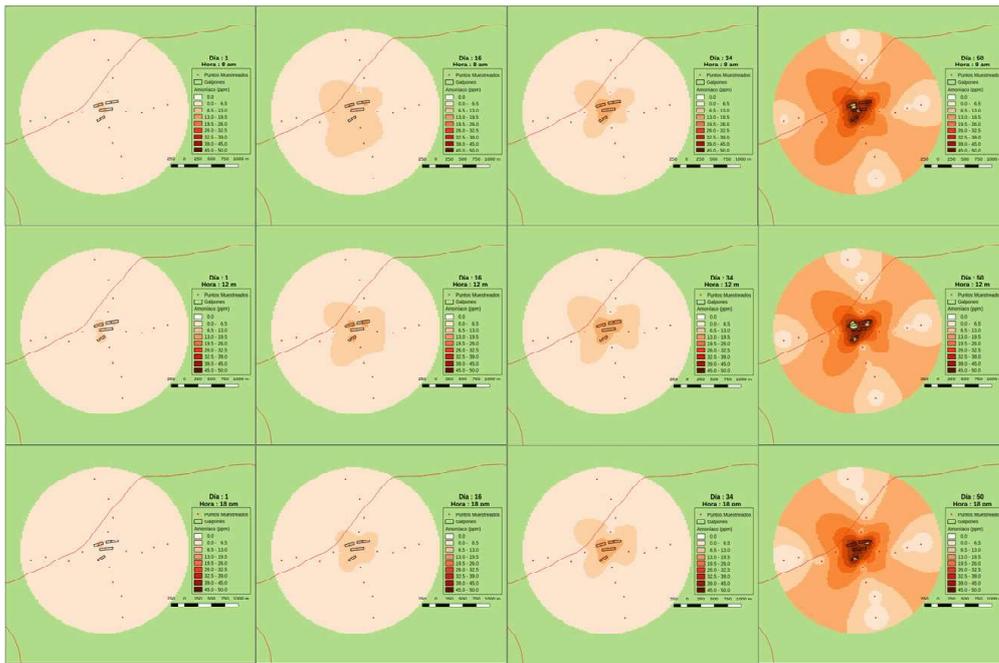


Figura 4. Concentración de amoníaco en el aire asociado a los días del ciclo de producción en una granja avícola en la vereda de Santa Bárbara, Municipio de Tena, Cundinamarca (Colombia)

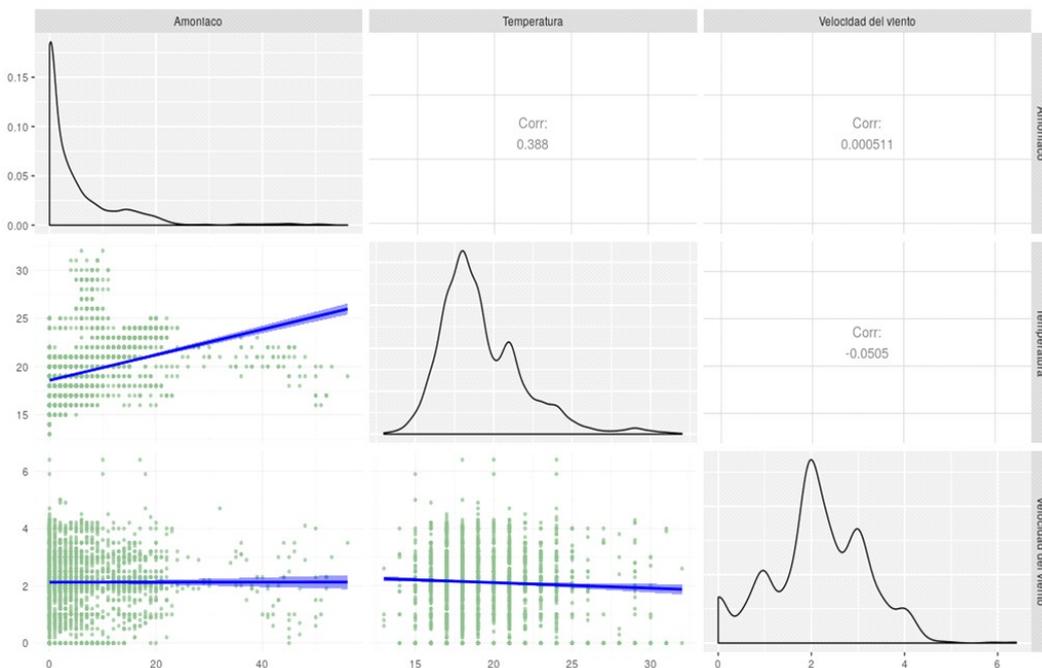


Figura 5. Correlaciones entre la concentración de amoníaco proveniente de la granja avícola y los factores ambientales (temperatura y velocidad del viento) en la vereda de Santa Bárbara, Municipio de Tena, Cundinamarca (Colombia)

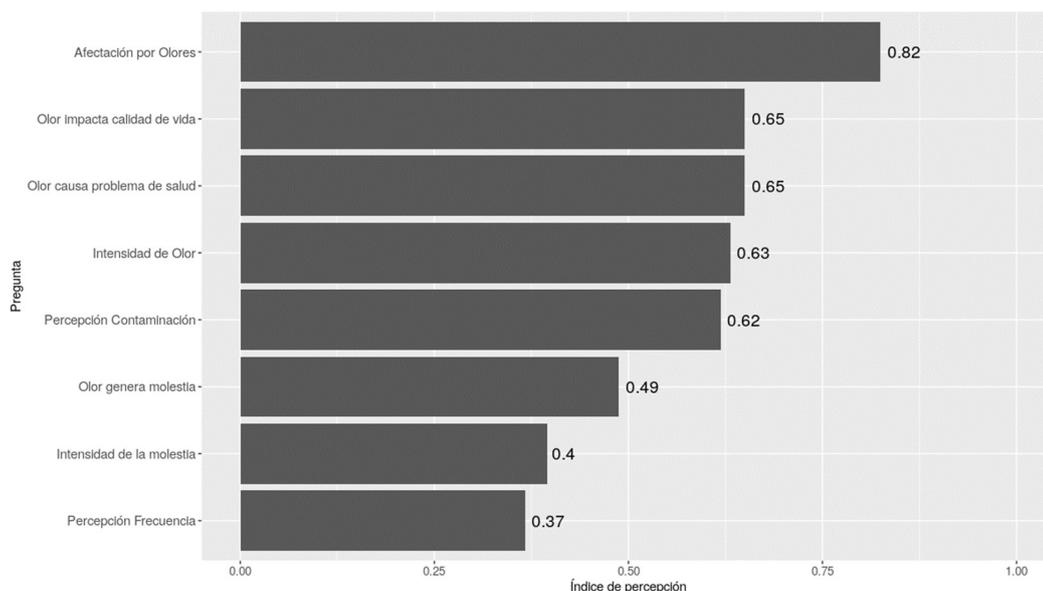


Figura 6. Valoración cualitativa de percepciones sociales (índice de percepción) de los pobladores que viven en los alrededores de la granja avícola en la vereda de Santa Bárbara, Municipio de Tena, Cundinamarca (Colombia)

día; sin embargo, las concentraciones de amoníaco incrementan conforme transcurre el ciclo de producción (Figura 4).

La concentración de amoníaco implicado en la dispersión para el día 1 fue de 1.46 ± 0.38 ppm, para el día 16 de 4.65 ± 0.65 , para el día 34 de 4.9 ± 0.87 ppm y para el día 50 de 17.55 ± 2.34 ppm. En la interpolación de amoníaco en la granja y sus alrededores se evidencia como la concentración de amoníaco en las inmediaciones del punto de producción es similar y va aumentando a medida que las aves van creciendo.

La temperatura y la concentración de amoníaco presentaron una correlación positiva directa significativa ($p < 0.001$), mientras que se encontró una correlación negativa significativa ($p < 0.05$) entre la temperatura y la velocidad del viento (Figura 5). Por otro lado, no se encontró correlación alguna entre la concentración de amoníaco y la velocidad del viento.

La valoración cualitativa de percepciones sociales sobre los olores que ocasiona la granja avícola se muestra en la Figura 6. Las personas que viven en los alrededores de la granja avícola (en un radio de 1 km) perciben que están siendo afectados por los olores ($p = 0.00016$), que estos olores impactan en su calidad de vida ($p = 0.0039$), que el olor que se percibe es intenso ($p = 0.0012$) y que estos olores contaminan el aire ($p = 0.0029$).

DISCUSIÓN

El comportamiento de la emisión de amoníaco generada en granjas avícolas puede variar de acuerdo con las horas del día, al ciclo de producción y puede estar influenciada por temperatura ambiental (Herrera *et al.*, 2013; Escorcía, 2015). En granjas avícolas en Costa Rica se encontró una mayor concentración al medio día y en las horas de la tarde (Herrera *et al.*, 2013). Las altas tem-

peraturas favorecen el flujo de emisiones de amoníaco acumulado en los lechos por las excreciones de las aves; sin embargo, en este estudio no se encontraron diferencias significativas en la emisión de amoníaco durante el día, posiblemente debido a que la temperatura ambiente durante el día no es variable.

La temperatura es un factor que puede afectar la producción de las granjas y la concentración de amoníaco (Álvarez y Herrera, 2009). En el ciclo de producción reportado en este estudio, las aves son sacrificadas en el día 42, dejando los ocho días posteriores para el alistamiento del lecho; es decir, periodo en que los trabajadores de la granja «voltean» el lecho, actividad que trae como consecuencia que las concentraciones de amoníaco aumenten en ese periodo (Herrera *et al.*, 2013). Osorio *et al.* (2016) encontró que la concentración de amoníaco sobrepasa las 25 ppm en las tres primeras semanas de vida de las aves, que la reutilización del lecho (quinto ciclo) y el control de la ventilación a través de cortinas que reducen la permeabilidad del aire interno hacia el externo incrementan los niveles de amoníaco. Así mismo, Escorcía (2015) encontró que la emisión de amoníaco generada en una granja está en un rango de 0 a 120 ppm, aproximadamente, lo que demuestra la gran variación existente entre galpones que puede estar influenciada por factores de temperatura, ventilación y manejo del lecho. En el presente estudio no se llegaron a reportar concentraciones elevadas, lo que sugiere un buen manejo al interior de la granja avícola.

Por otro lado, los hallazgos aquí reportados indican que hay una relación positiva entre la concentración de amoníaco y la temperatura ambiental, tal y como ha sido demostrado en estudios en Ecuador (Álvarez y Herrera, 2009) y en Costa Rica (Herrera *et al.*, 2013). El amoníaco proviene de la descomposición del ácido úrico de las excretas de las aves, proceso que es llevado a cabo por microorganismos que requieren un pH alcalino y una temperatura superior a los

35 °C. El incremento de la temperatura y la humedad implica una mayor velocidad del crecimiento de las poblaciones bacterianas y, como consecuencia, se acelera la producción de amoníaco (Antezana, 2016), efecto que se observa con mayor intensidad conforme avanzan las semanas de crianza (Merchán y Quezada, 2013). También se ha encontrado un comportamiento inverso entre la dispersión del amoníaco y la velocidad del viento (Sierra, 2006); sin embargo, esta relación no fue significativa en el presente trabajo, debido posiblemente a la baja velocidad del viento reportada durante el periodo del estudio.

La distancia a la que llegan las emisiones de amoníaco provenientes de las granjas avícolas puede ser percibida de distintas maneras por los pobladores aledaños a las granjas. De los compuestos químicos implicados en la generación de malos olores, el amoníaco es el principal responsable. Es un gas irritante con un olor característico e incoloro, que en concentraciones habituales puede oscilar entre 5 y 20 ppm (Herrera *et al.*, 2013). Concentraciones superiores producen irritación nasal y ocular y a 50 ppm producen cefaleas (MAPA, 2006). Herrera *et al.* (2013) reportó concentraciones máximas de 10 ppm a 20 m de distancia de la granja avícola y en dirección predominante del viento, mientras que en el presente estudio se encontraron concentraciones de aproximadamente 17 ppm a 361 m. Estos niveles, según la OMS (1996), no tendrían efectos negativos en la salud de las personas que viven a 360 m o más de la granja. La baja concentración de amoníaco reportada a 1 km a la redonda de la granja pudo deberse a la presencia de vegetación circundante a la granja, de modo que se espera que sea absorbido de forma casi inmediata por el follaje de los árboles (*Quercus humboldtii*, *Alnus acuminata*, *Weinmannia* sp), incluso antes de alcanzar las capas bajas de la atmósfera (Gaitán y Cárdenas, 2017). No obstante, las percepciones negativas relacionadas con los olores provenientes de la granja avícola fueron evidentes por parte de los pobladores locales cercanos a la granja.

La percepción olfativa humana puede diferir en gran medida entre individuos, y responde principalmente a variaciones perceptivas que están relacionadas con la intensidad de un olor en particular (Keller *et al.*, 2007). En el presente trabajo, las percepciones de los pobladores indican presencia de malos olores a pesar de las bajas concentraciones de amoníaco registradas. Para el caso de los olores emitidos por granjas avícolas, considerados como los más desagradables por muchas personas (Nimmermark, 2011), la complejidad y variedad de los compuestos responsables de los olores liberados que causan molestias obedece a un efecto sinérgico de varios odorantes que incluso con niveles bajos, crean una mezcla que resulta mucho más ofensiva que los compuestos individuales presentes en el aire a concentraciones más elevadas (Fournel *et al.*, 2012). Por ejemplo, los malos olores percibidos por los pobladores podrían obedecer posiblemente a otros compuestos odorantes como el indol y la piridina (compuestos nitrogenados y aromáticos) que fueron clasificados por Borowski *et al.* (2017) como los segundos y terceros olores predominantes después del amoníaco, y que pertenecen a los odorantes más ofensivos. De igual manera reportan también la presencia de compuestos que contienen azufre y ésteres, que podrían estar causando molestias en los pobladores cercanos a la granja.

CONCLUSIÓN

- La dispersión de las emisiones de amoníaco en los alrededores de la granja avícola demostró estar relacionada con el ciclo productivo de la granja, dado que las condiciones climáticas como la temperatura son uniformes.
- No se detectaron concentraciones de amoníaco con implicaciones sobre la salud de sus pobladores más allá de 361 m; sin embargo los pobladores hasta una distancia de 1 km indicaron que perciben olores ofensivos con impacto sobre

la calidad de vida, lo que podría indicar la presencia de otro tipo de compuestos odorantes ofensivos.

LITERATURA CITADA

1. **Álvarez S, Herrera P. 2009.** Diseño e implementación del sistema automático de control de temperatura y concentración de amoníaco para los galpones de crianza de aves de la fundación avícola agrobema. Tesis de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control. Sangolquí, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército. 36 p.
2. **Antezana WO. 2016.** Análisis de los factores que influyen en las emisiones de amoníaco y metano de purines porcinos: composición del purín y factores nutricionales. Tesis Doctoral. España: Univeritat Politécnica de València. 162 p.
3. **Benedikt G, Pebesma E, Heuvelink G. 2016.** Spatio-temporal interpolation using gstat. *RJ* 8: 204-218.
4. **Bivand R, Keitt T, Rowlingson B. 2019.** rgdal: bindings for the «Geospatial» Data Abstraction Library. [Internet]. Available in: <https://cran.r-project.org/package=-rgdal>
5. **Bivand R, Pebesma E, Gomez-Rubio V. 2013.** Applied spatial data analysis with R. 2nd ed. NY: Springer. 405 p
6. **Borowski S, Matusiak K, Powa³owski S, Pielech-Przybylska K, Makowski K, Nowak A, Rosowski M, et al. 2017.** A novel microbial-mineral preparation for the removal of offensive odors from poultry manure. *Int Biodet Biodegr* 119: 299-308. doi: 10.1016/j.ibiod.2016.10.042
7. **Costa C, Saldarriaga G, Lozano R, Suárez R. 2007.** Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia: Calidad del Aire. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (DEAM), Bogotá DC, Colombia.

8. **Escorcía N. 2015.** Evaluación de los niveles de amoníaco en las heces fecales de aves ponedoras comerciales de la empresa Avisin con la inclusión del producto de-odorase. Tesis de Médico Veterinario Zootecnista. Bucaramanga, Colombia: Univ. Cooperativa de Colombia. 52 p.
9. **Estrada MM. 2005.** Manejo y procesamiento de la gallinaza. *Rev Lasallista Invest* 2: 43-48.
10. **Fournel S, Pelletier F, Godbout S, Lagacé R, Feddes JJR. 2012.** Odour emissions, hedonic tones and ammonia emissions from three cage layer housing systems. *Biosyst Eng* 112: 181-191. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2012.03.010
11. **Gaitán M, Cárdenas P. 2017.** Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [Internet]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientales-ySectorialUrbana/pdf/emisiones-atmosfericas-contaminantes/documentos-relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf
12. **Herrera J, Rojas J, Bolaños A. 2013.** Diagnóstico preliminar de los niveles de emisión de amoníaco y sulfuro de hidrógeno en distintas modalidades de producción en granjas avícolas en Costa Rica. *Rev Cienc Ambientales* 46: 15-26.
13. **Huertas JA. 2015.** Propuesta para establecer un sistema de vigilancia de contaminantes ambientales en Colombia. *Biomédica* 35(Supl 2): 8-19. doi: 10.7705/biomedica.v35i0.2449
14. **IGAC SIG-OT. 2018.** Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial. Bogotá DC, Colombia. [Internet]. Disponible en: http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames_pagina.aspx
15. **Keller A, Zhuang H, Chi Q, Vosshall LB, Matsunami H. 2007.** Genetic variation in a human odorant receptor alters odour perception. *Nature* 449: 468-472. doi: 10.1038/nature06162
16. **Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2006.** Guía de mejores técnicas disponibles del sector de avicultura de carne. Madrid: MAPA. 85 p.
17. **Méndez R, Castillo E, Vázquez E, Briceño O, Coronado V, Pat R, Vivas RG 2009.** Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. *Ingeniería* 2: 13-21.
18. **Merchán I, Quezada J. 2013.** Reducción de amoníaco de la pollinaza de pollos broiler mediante la adición de zeolita en la ración alimenticia durante el periodo de crianza en la parroquia Paccha del cantón Cuenca, provincia del Azuay. Tesis de Ingeniero Ambiental. Cuenca, Ecuador: Univ. Politécnica Salesiana. 110 p.
19. **Monmonier M. 1982.** Computer-assisted cartography: principles and prospects. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. 214 p.
20. **Montekio VB, Medina G, Aquino R. 2011.** Sistema de salud de Brasil. *Salud Pública México* 53: 120-131.
21. **Municipio de Tena. 2015.** *Plan de Desarrollo. Tena Cundinamarca 2012-2015.* Concejo Municipal, Departamento de Cundinamarca, República de Colombia. [Internet]. Disponible en: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/tenacundinamarca2012-2015.pdf>
22. **Naseem S, King AJ. 2018.** Ammonia production in poultry houses can affect health of humans, birds, and the environment-techniques for its reduction during poultry production. *Environ Sci Pollut R* 25: 15269-15293. doi: 10.1007/s11356-018-2018-y
23. **Nimmermark S. 2011.** Influence of odour concentration and individual odour thresholds on the hedonic tone of odour from animal production. *Biosyst Eng* 108: 211-219. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2010.12.003
24. **Norma Técnica Colombiana 6012-1 «Efectos y evaluación de los olores. Evaluación psicométrica de las molestias por olores. Cuestionarios» (2015).** [Internet]. Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/Documentos/Documentos%20PDF/NT%206012-1%20Efectos%20y%20evaluacion%20de%20los%20olores.pdf>

- gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldeCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_15/Publicaciones/Shared%20Content/GACETA%20OFICIAL/2015/Gaceta%204356/RESOLUCION%20METR-OPOLITANA%20-D002380%20DE%202015.pdf
25. **[NRC] National Research Council. 2003.** Air emissions from animal feeding operations: current knowledge, future needs. Washington DC, USA: NRC. 286 p.
 26. **[OMS] Organización Mundial de la Salud. 1996.** Amoníaco. Guía para la salud y la seguridad. Metepec, México: OMS. 30 p.
 27. **Pebesma EJ. 2004.** Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Comput Geosci* 30: 683-691. doi: 10.1016/j.cageo.2004.03.012
 28. **Pérez T, Carrasco T, Núñez LA. 2005.** Dinámica de las características físico-químicas de aguas de un sistema en el que convergen residuales pecuarios y urbanos. *Cuban J Agr Sci* 39: 339-342.
 29. **QGIS Development Team. 2018.** QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. [Internet]. Available in: <http://qgis.osgeo.org>
 30. **R Core Team. 2018.** R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Internet]. Available in: <https://www.r-project.org/>
 31. **Riojas-rodríguez H, Schilman A, López-carrillo L, Finkelman J. 2013.** La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública México* 55: 638-649.
 32. **Osorio H, Tinoco IFF, Osorio JA, Souza C, Coelho D, Sousa F. 2016.** Calidad del aire en galpón avícola con ventilación natural durante la fase de pollitos. *Rev Bras Eng Agr Amb* 20: 660-665. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi-v20n7p660-665
 33. **Schiffman SS, Walker JM, Dalton P, Lorig TS, Raymer JH, Shusterman D, Williams CM. 2000.** Potential health effects of odor from animal operations, wastewater treatment, and recycling of byproducts. *J Agromedicine* 9: 397-403. doi: 10.1300/J096v07n01_02
 34. **Sierra M. 2006.** Establecer la asociación existente entre las variables meteorológicas temperatura, velocidad del viento y precipitación y las concentraciones de PM₁₀ registradas en la red de calidad del aire de Bogotá DC. Tesis de Ingeniero Ambiental y Sanitaria. Bogotá: Univ. de la Salle. 170 p.
 35. **Silvestre C, Gost J, Astier P, Ezpeleta P. 2002.** Análisis cualitativo de la percepción que tienen las personas que participan en un ensayo clínico, Navarra. *Rev Española Salud Pública* 76: 605-612.
 36. **Wood DJ, Van Heyst BJ. 2016.** A review of ammonia and particulate matter control strategies for poultry housing American Society of Agricultural and Biological Engineers. *Am Soc Agric Biol Engineers* 59: 329-344. doi: 10.13031/trans.59.10836
 37. **Wright K. 2018.** corrgram: plot a correlogram. R package v. 1.13. [Internet]. Available in: <https://cran.r-project.org/package=corrgram>
 38. **Yao Q, Yang Z, Li H, Buser MD, Wanjura JD, Downey PM, Zhang C, Craige C, Torrents A, McConnell LL, Holt GA, Hapeman CJ. 2018.** Assessment of particulate matter and ammonia emission concentrations and respective plume profiles from a commercial poultry house. *Environ Pollut* 238: 10-16. doi: 10.1016/j.envpol.2018.02.039