

## **DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE AEROBACTERIAS EN EL RELLENO SANITARIO PALANGANA, SANTA MARTA (COLOMBIA)**

### **SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION OF AEROBACTERIAS IN THE PALANGANA'S LANDFILL, SANTA MARTA (COLOMBIA)**

*Andrés Vélez-Pereira, Yiniva Camargo Caicedo, Sandra Rocío Balaguera Rincones*

## **RESUMEN**

Las diferentes etapas del proceso de descomposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios pueden contribuir a la emisión de bioaerosoles que resultan perjudiciales a la salud, por causar enfermedades alérgicas, respiratorias e infecciosas. Sin embargo, en Colombia los estudios relacionados con la generación de bacterias en el aire producto de las actividades en los rellenos sanitarios son escasos, por lo que esta investigación tuvo como objetivo establecer la variación espacio-temporal de aerobacterias generadas en el proceso de disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario Palangana del distrito de Santa Marta. Para este propósito se seleccionaron tres estaciones de monitoreo ubicadas en las unidades de proceso del relleno sanitario, a partir del trazado en el plano del área de estudio del eje imaginario en la dirección del viento; estas estaciones corresponden a la celda activa, celda pasiva y laguna de lixiviados, en donde se monitoreo en seis campañas durante las jornadas mañana y tarde. Las aerobacterias fueron colectadas sobre el agar standard plate count por un impactador de cascada de dos etapas serie 10-800 (Tisch Environmental, Inc.), operando a 28,3 l/min por 3 min y ubicado a 1,5 m de altura; luego se incubaron a 28°C durante 48 horas y se realizó la cuantificación de bacterias. La concentración máxima de aerobacterias reportadas en la jornada de la mañana se obtuvo en la estación ubicada en la piscina de lixiviados (2.320 UFC/m<sup>3</sup>), mientras que en la tarde se registró en la celda activa (3.545 UFC/m<sup>3</sup>). Además, se observó durante las diferentes campañas realizadas, una alta concentración de aerobacterias respirables con respecto a las sedimentables, con altos registros en horas de la tarde, confirmando los riesgos a la salud a que se encuentran expuestos los trabajadores del relleno sanitario, debido a la acumulación de aerobacterias en el sistema respiratorio.

**PALABRAS CLAVE:** Aerobacterias, bioaerosoles, impactador de cascada, relleno sanitario, residuos sólidos.

## **ABSTRACT**

Different stages during the degradation of municipal solid wastes (MSW) in landfills can contribute to the emission of bioaerosols, which may represent a health hazard causing allergic, respiratory and infectious diseases. However, the studies related to the generation of airborne bacteria in landfill sites in Colombia are still scarce. Therefore, this study was aimed to establish the spatial and temporal distribution of airborne bacteria generated during the final disposal of MSW at the Palangana landfill site, located at Santa Marta district. To achieve this aim, three monitoring locations were selected at different operations taking place in the landfill site, and following the wind direction; these locations corresponded to the active cell, the close cell and the leachate collection pond, where six monitoring campaigns were performed both in the morning and afternoon. Airborne bacteria were collected on standard plate count agar using a two-stage cascade impactor

#### **Dirección de los autores:**

Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales- GIMSA. Universidad del Magdalena. INTROPIC. Carrera 32 No. 22-08. Santa Marta (Colombia). Tel. (+ 57) (5) 4301292 Ext. 330. avelez@unimagdalena.edu.co. (A.V-P., Y.C., S.R.B.R).

model 10-800 (Tisch Environmental, Inc.), operating at 28,3 l/min during 3 min (sampling time) and located at 1,5 m height. Plates were incubated for 48 h at 28°C for colony counting. The highest airborne bacteria concentration in the morning sampling was obtained at the leachate pond (2.320 CFU/m<sup>3</sup>), whereas in afternoon samplings the highest concentration was obtained in the active cell (3.545 CFU/m<sup>3</sup>). Besides, there was higher concentration of breathable bacteria compared to the sedimentable bacteria, confirming the health hazard for site workers due to the exposure to the airborne bacteria that can reach the respiratory system.

**KEY WORDS:** Aerobacterias, bioaerosols, cascade impactor, landfill, solid wastes.

## INTRODUCCIÓN

Los bioaerosoles se encuentran constituidos por partículas suspendidas en el aire con tamaños que oscilan entre 0,1 µm y 100 µm de diámetro y que contienen bacterias, virus, hongos y los productos de su metabolismo (e.g endotoxinas), así como polen e incluso insectos muy pequeños y sus desechos (Canup, 2000; Huang et al., 2002; Toivola et al., 2002; Douwes et al., 2003; Rengasamy et al., 2004; Sergey y Reponen, 2004; Peccia y Hernández, 2006; Sánchez-Monedero et al., 2006). Según estudios realizados por Dimmick et al. (1979) se ha establecido que la atmósfera difícilmente puede considerarse un hábitat adecuado para los microorganismos, debido a que la viabilidad de éstos se ve influenciada por factores como su contenido de agua, la humedad relativa y temperatura del aire, la presencia de oxígeno y la radiación solar (Mohr, 2002). Sin embargo, los factores ambientales (turbulencia atmosférica, humedad y temperatura) sumados a las propiedades físicas de los bioaerosoles (forma, tamaño y densidad) condicionan su comportamiento aerodinámico, determinando a su vez el tiempo que permanecerán los microorganismos suspendidos en el aire antes de sedimentarse. Durante este periodo las partículas podrían ser transportadas por la acción del viento a distancias que pueden variar desde unos pocos metros hasta varios kilómetros (Sánchez-Monedero et al., 2006).

Las actividades antropogénicas asociadas con descomposición microbiana de materia orgánica generan emisiones de bioaerosoles, que incluyen como principales fuentes potenciales la producción agrícola y los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales, las estaciones de transferencia y aprovechamiento de residuos

sólidos y los rellenos sanitarios (Stetzenbach, 2002; Kummer y Thiel, 2008). Diversas investigaciones han reportado la presencia de bacterias, hongos y virus aerotransportables resultado del tratamiento de aguas residuales (Randall y Ledbetter, 1966; Lundholm, 1982; Fannin et al., 1985; Sánchez-Monedero et al., 2007), operación de rellenos sanitarios (Rankonen et al., 1987; Lis et al., 2004; Rodríguez et al., 2005; Flores et al., 2007a) y plantas de compostaje (Reinthal et al., 1999).

En las plantas de tratamiento de aguas residuales se registran aerobacterias en procesos de lodos activados con valores entre 0,27 y 5,17 UFC/m<sup>3</sup> coliformes, *Escherichia coli* en el orden de 10<sup>2</sup> UFC/m<sup>3</sup> y hasta 10<sup>5</sup> UFC/m<sup>3</sup> de bacilos Gram negativos (Fannin et al., 1985; Laitinen et al., 1994; Ranalli et al., 2000). Reinthal et al. (1999) reportaron concentraciones de bacterias en el aire del orden de 10<sup>5</sup> UFC/m<sup>3</sup> en plantas de aprovechamiento de residuos sólidos, mientras que en rellenos sanitarios Rankonen et al. (1987) registraron la presencia de bacterias entre 10 y 10<sup>4</sup> UFC/m<sup>3</sup>, siendo las más representativas: coliformes totales con concentraciones entre el límite de detección y 10<sup>3</sup> UFC/m<sup>3</sup> y *Streptococcus fecales*, entre el límite de detección y 10<sup>4</sup> UFC/m<sup>3</sup>. Kiviranta et al. (1999) reportaron bacterias del orden de 10<sup>4</sup> UFC/m<sup>3</sup> con la predominancia de bacilos Gram negativos 10<sup>3</sup> UFC/m<sup>3</sup>, en actividades que implican el manejo de residuos.

Los patógenos primarios o aerobacterias desarrollados durante el proceso de degradación de los residuos sólidos orgánicos que se disponen en los rellenos sanitarios, pueden ser dispersados como bioaerosoles y causar infecciones, alergias o incluso intoxicaciones, tanto a los operarios de la planta que manejan dichos residuos como a los habitantes de las zonas aledañas (Clark et al., 1984; Malmros et al., 1992; Sigsgaard et al.,

1994). Según algunos estudios, las aerobacterias por su tamaño inferior a 5  $\mu\text{m}$  pueden ser inhaladas y alcanzar fácilmente los alvéolos pulmonares, donde pueden depositarse y causar enfermedades infecciosas o reacciones alérgicas tales como asma, neumonía, rinitis, sinusitis alérgica, hipersensibilidad y fatiga (Huang et al., 2002; Stetzenbach, 2002).

Se cuenta con escasa información relacionada con la variación estacional de las aerobacterias; sin embargo, en algunos lugares de Europa, Estados Unidos y Canadá se han encontrado altas concentraciones de éstas en verano y bajas en invierno, asociadas con períodos polvorientos de sequía durante la primera temporada, mientras que en primavera e invierno la lluvia y la nieve permiten la disminución de la concentración de aerobacterias (Rosas et al., 2004). Tong y Lighthart (1997) establecieron que el tipo de aerobacterias varía con las horas del día: en la noche las Gram positivas esporuladas presentan su concentración mínima (17%) y las Gram negativas su máxima (22%), durante el día se invierte el proceso con 35% y 12%, respectivamente. En relación a la distribución espacial, se conoce que algunas bacterias pueden viajar grandes distancias y otras por su corto tiempo de supervivencia, pueden afectar solamente a nivel local. Los estudios de Bovallius et al. (1978); Jones y Cookson (1983); Lacey y Venette (1995) permitieron establecer que las aerobacterias son más numerosas en las ciudades, con el registro de concentraciones máximas de 4.000 UFC/ $\text{m}^3$  y promedio 850 UFC/ $\text{m}^3$ , mientras que en áreas rurales la máxima reportada es de 3.400 UFC/ $\text{m}^3$  y promedio 99 UFC/ $\text{m}^3$ .

Los estudios relacionados con distribución espacial y temporal de las aerobacterias, como resultado de las diferentes actividades realizadas en el proceso de disposición final de residuos sólidos, en rellenos sanitarios son escasos. En Colombia, García (2002) realizó una investigación orientada a determinar la concentración de bioaerosoles emitidos desde el relleno sanitario Curva de Rodas ubicado en la ciudad de Medellín, que fue utilizada como referencia nacional para la ejecución del proyecto de investigación que dio origen a este producto. Los resultados obtenidos corresponden a la primera investigación realizada en la región Caribe, con el objeto de

establecer la variación espacial y temporal de aerobacterias asociadas a las actividades que se realizan durante la operación del relleno sanitario Palangana del distrito de Santa Marta, y que pudiesen representar riesgo para la salud de los trabajadores y de los residentes en las comunidades próximas al área de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El relleno sanitario del distrito de Santa Marta localizado en el sector denominado Palangana, del que recibe su nombre, cuenta con un área de 53 ha. Se encuentra ubicado aproximadamente a 1.100 m del casco urbano sobre la vía que conduce a Bahía Concha (Parque Nacional Natural Tayrona) y próximo a los habitantes de las comunidades que residen en la urbanización Altos de Bahía Concha y los barrios Fundadores y Bastidas.

Este sistema de disposición final de residuos sólidos se encuentra conformado por la celda activa, las celdas pasivas y dos lagunas de tratamiento de los lixiviados generados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Estas unidades corresponden a las potenciales fuentes-área de emisiones de aerobacterias en el relleno sanitario donde se ubicaron las estaciones de monitoreo.

### Diseño del muestreo

La metodología implementada en la ubicación de estaciones de monitoreo y en la toma de muestras de aerobacterias se fundamenta en las establecidas por la Asociación de Compostaje del Reino Unido y el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (Jensen, 1998; Gilbert y Ward, 1999), utilizadas para la colecta y caracterización de aerosoles.

Las estaciones de monitoreo se ubicaron en las diferentes unidades que integran el sistema de disposición final de residuos sólidos, a partir del trazado en el plano del área de estudio del eje imaginario en la dirección del viento, permitiendo su georreferenciación con el equipo Garmin MAP

60CSX. Se seleccionaron tres estaciones: Celda pasiva (11°15'35,11" N, 74°9'15,7" W), laguna de lixiviados (11°15'30,9" N, 74°9'20,5" W) y celda activa (en cada campaña las coordenadas se modifican, iniciando en 11°15'37,5" N,

74°9'13,6" W), como fuentes-área de emisión de aerobacterias, sitios donde se efectuó la toma de muestra en cada una de las seis campañas que se realizaron en agosto, septiembre y octubre de 2008 en jornadas mañana y tarde (Figura 1).

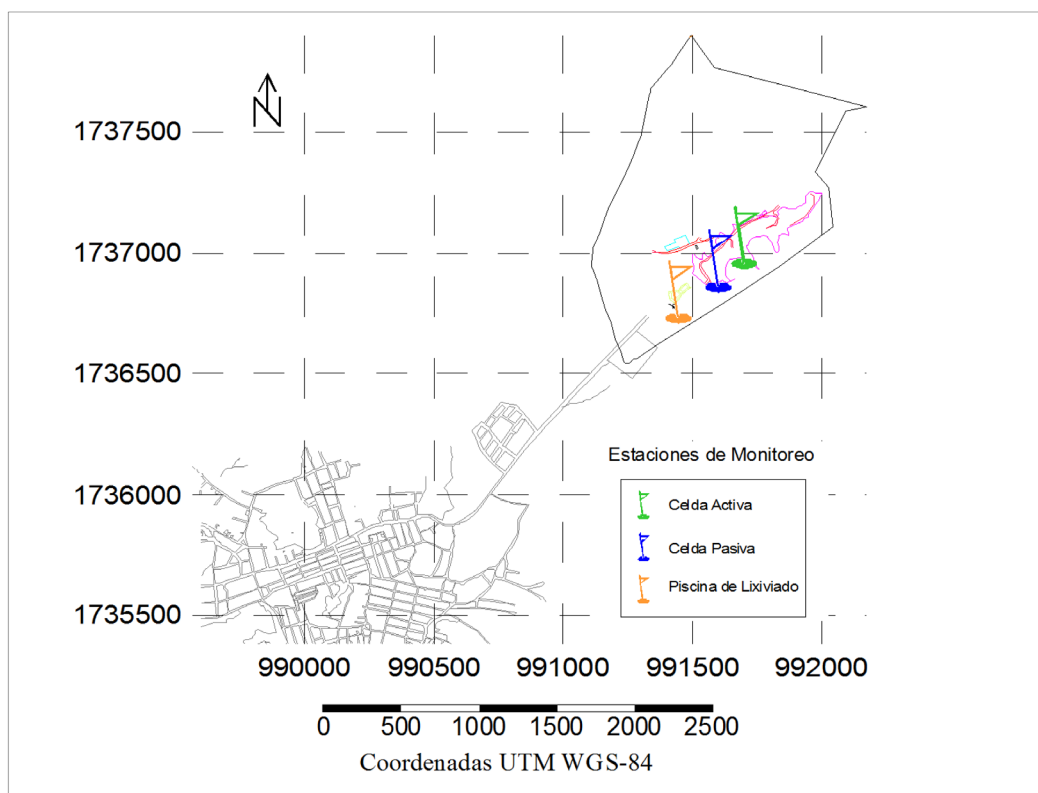


Figura 1. Área de estudio, relleno sanitario Palangana – distrito de Santa Marta, Colombia.

Para el método de recolección de aerobacterias se utilizó un impactador de cascada para partículas viables integrado de dos etapas, serie 10-800 y marca Tisch Environmental, Inc. Este equipo está constituido por una serie de dos placas de aluminio (etapas), cada una con 400 orificios cuyo diámetro disminuye sucesivamente, por lo que la velocidad del aire se incrementa de una etapa a la siguiente y que succiona un flujo de aire de 28,3 l/min que arrastra las partículas viables por medio de una bomba de vacío. Las partículas de una masa mayor (sedimentables) y con diámetros aerodinámicos iguales y superiores a 7,0  $\mu\text{m}$  son depositadas en la etapa 1, mientras que las más pequeñas (respirables) con diámetros entre 0,65 y 1,1  $\mu\text{m}$  son transportadas a mayor velocidad y se impactan sobre la superficie de colecta de la

etapa 2 (Tisch Environmental Inc., 2006). Resulta importante anotar que el impactador de dos etapas utilizado para realizar la recolección consta de la etapa 1 correspondiente a su equivalente en el impactador de cascada de seis etapas y la etapa 2 correspondiente a la etapa 6.

El equipo fue ubicado a una altura de 1,5 metros proporcionada por un trípode y provisto de cajas petri con agar estándar Plate Count; medio en el que se desarrollaron las aerobacterias. El tiempo de recolección fue obtenido a partir de la revisión de la literatura presentada por Buttner et al. (2002) y ajustada con los resultados obtenidos en la campaña de pre-muestreo, obteniendo así un tiempo óptimo de tres minutos para cada muestra colectada en original y réplica.

## Cuantificación de aerobacterias

Posterior a la recolección de las muestras en cada estación de monitoreo, se realizó su incubación a la temperatura ambiente promedio del área de estudio (28°C) durante 48 horas. Luego de este periodo se efectuó el conteo de aerobacterias por caja de petri utilizando el contador de colonia marca LEICA. Con los datos obtenidos en el laboratorio se alimentó una hoja de cálculo excel, en la que se realizaron las operaciones para determinar la concentración de aerobacterias por estación y jornada, utilizando la siguiente expresión matemática:

$$\frac{UFC}{m^3} = \frac{\text{Unidades Formadoras de Colonias}}{\text{Volumen de Aire}} \quad (1)$$

## Análisis e interpretación de resultados

Los datos de concentración de aerobacterias fueron tabulados por cada campaña y estación de monitoreo durante las dos jornadas de recolección, calculando el promedio aritmético entre el original y la réplica de cada muestra y el promedio geométrico por estación y jornada durante las seis campañas de monitoreo.

Se elaboró un diagrama de barras que presenta la distribución porcentual de aerobacterias por tamaño para cada una de las dos etapas del equipo impactador serie 10-800 Tisch Environmental, por campaña y jornada. De esta forma se logró establecer los rangos de diámetro aerodinámico en los que se encuentran la mayoría de las aerobacterias colectadas y se determinó así, el porcentaje de partículas sedimentables y respirables asociadas a las unidades de proceso del relleno sanitario.

Esta información permitió realizar el análisis estadístico aplicando ANOVA con factores de ruido (original y réplica), utilizando el software Statgraphics y construyendo varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de concentración para los diferentes niveles de la población (estaciones); la prueba-F en la tabla ANOVA determinó si existen diferencias significativas entre las medias, en cuyo caso se aplicó la prueba de rangos múltiples que estableció cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras.

Los resultados de la distribución espacial y temporal se representaron utilizando el software Golden Surfer V. 8.0 en planos de isoconcentraciones de aerobacterias, para cada estación seleccionada y jornada de monitoreo. Se aplicó el método de grillado geoestadístico Kriging, que permite realizar la interpolación de datos obtenidos para cada estación arrojando la representación gráfica respectiva.

## RESULTADOS

### Concentración de aerobacterias

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la concentración de aerobacterias (UFC/m<sup>3</sup>). La concentración máxima de aerobacterias reportada en la jornada de la mañana fue obtenida en la estación ubicada en la piscina de lixiviados (2320 UFC/m<sup>3</sup>), mientras que en la tarde se registró en la celda activa (3545 UFC/m<sup>3</sup>). Los valores mínimos de concentración de aerobacterias fueron registrados tanto en la jornada de la mañana como en la tarde en la celda activa, con 17 UFC/m<sup>3</sup> y 58 UFC/m<sup>3</sup> respectivamente. De los promedios geométricos, se observó que la concentración máxima en la jornada de la mañana se registró en la piscina de lixiviados (495 UFC/m<sup>3</sup>) y en la tarde en la celda pasiva (768 UFC/m<sup>3</sup>); los valores mínimos promedio en la jornada de la mañana fueron registrados en la celda activa (196 UFC/m<sup>3</sup>) y en la tarde en la piscina de lixiviados (491 UFC/m<sup>3</sup>).

### Distribución por tamaño

En la Figura 2 se puede observar la predominancia de aerobacterias respirables, reportadas en las diferentes campañas de monitoreo por jornada, con excepción de la 2<sup>a</sup> campaña en la tarde y la 5<sup>a</sup> campaña en la jornada de la mañana que registraron 38.5 % y 28 % de aerobacterias respirables respectivamente. En la jornada de la tarde el porcentaje de aerobacterias respirables resultó mayor que en horas de la mañana y el mayor porcentaje se presentó en la 4<sup>a</sup> campaña (99,5 %). El porcentaje más alto de aerobacterias

sedimentables se presentó en la 5ª campaña durante la jornada de la mañana (72 %) y el

menor porcentaje se presentó en la 4ª campaña durante la jornada de la tarde (0,5 %)

Tabla 1. Concentración de aerobacterias en el Relleno Sanitario Palangana

Estación	Jornada	muestreo 1 (UFC/m <sup>3</sup> )	muestreo 2 (UFC/m <sup>3</sup> )	muestreo 3 (UFC/m <sup>3</sup> )	muestreo 4 (UFC/m <sup>3</sup> )	muestreo 5 (UFC/m <sup>3</sup> )	muestreo 6 (UFC/m <sup>3</sup> )	Promedio geométrico
celda activa	mañana	1336	630	241	335	17	47	196
	tarde	1295	3545	58	1142	312	NM**	626
celda pasiva	mañana	724	1.048	47	753	NM*	NM*	405
	tarde	1525	412	553	1001	NM*	NM*	768
piscina de lixiviados	mañana	995	1702	164	276	2320	82	495
	tarde	830	329	129	1277	630	NM**	491
<i>Desviación estándar</i>		315	1219	187	418	1030	24	-
<i>Promedio aritmético</i>		1117	1277	199	798	820	64	-

NM – No muestreado

\* El punto de muestreo de la celda pasiva fue suprimido por el avance de la celda diaria o celda activa, quedando esta sobre la estación

\*\* Jornada con precipitación

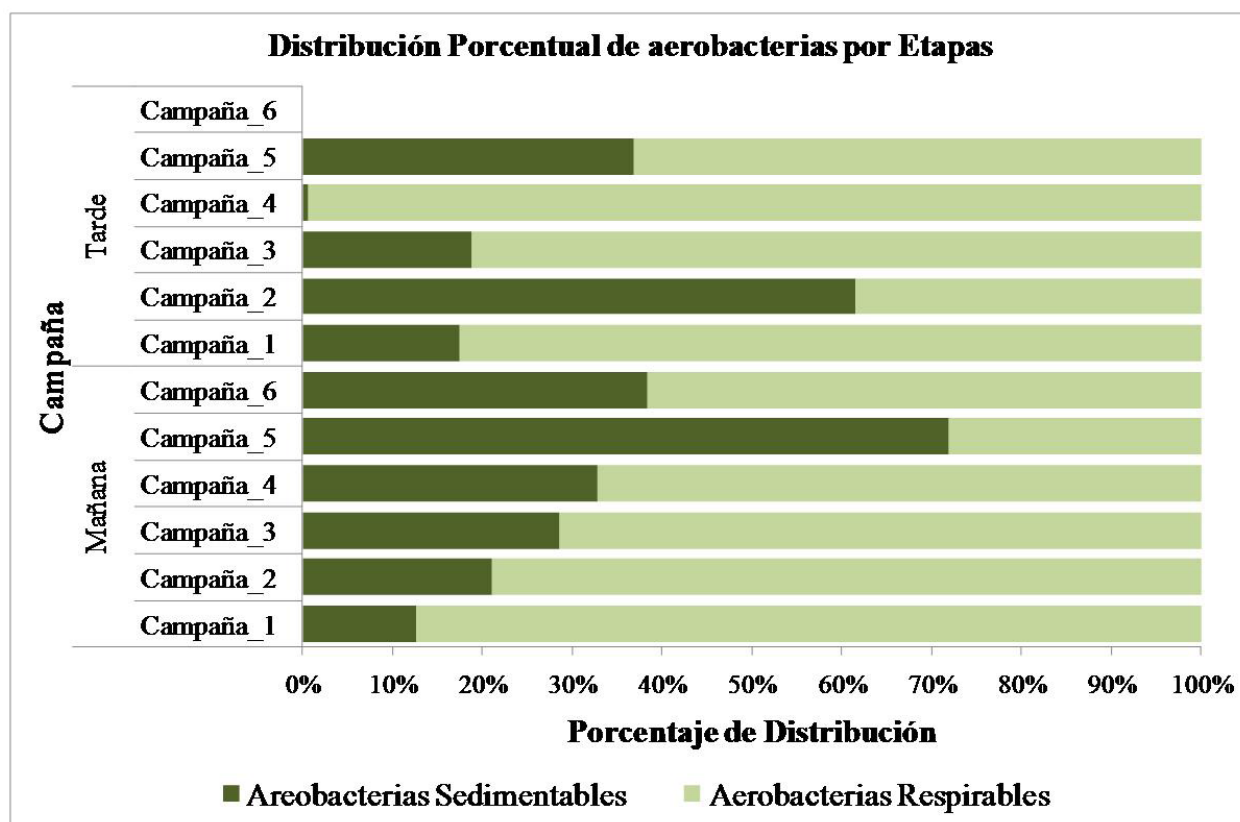


Figura 2. Distribución porcentual de los diámetros de las aerobacterias

### Distribución espacio-temporal

Las Figuras 3 y 4 presentan la distribución espacial y temporal de aerobacterias generadas en las unidades de proceso del relleno sanitario Palangana y monitoreadas durante cada campaña y jornada, presentando direcciones del viento en sentido noreste a suroeste con valores promedio de 2,58 m/s. Los planos de isoconcentración presentan en las horas de la mañana a la estación celda pasiva con los valores más bajos de aerobacterias y a la piscina de lixiviados como la estación con altos valores de concentración;

la jornada de la tarde observa concentraciones más altas entre la celda pasiva y la laguna de lixiviados, en algunas campañas se intercalan los valores bajos de concentración en estas dos estaciones.

La distribución espacial de los datos relacionados con la ubicación de las estaciones permite observar puntos aislados de emisión de aerobacterias, como también un orden específico de dispersión de aerobacterias en la 1ª y 2ª campaña de la jornada de la tarde (celda activa, celda pasiva, piscina de lixiviados).

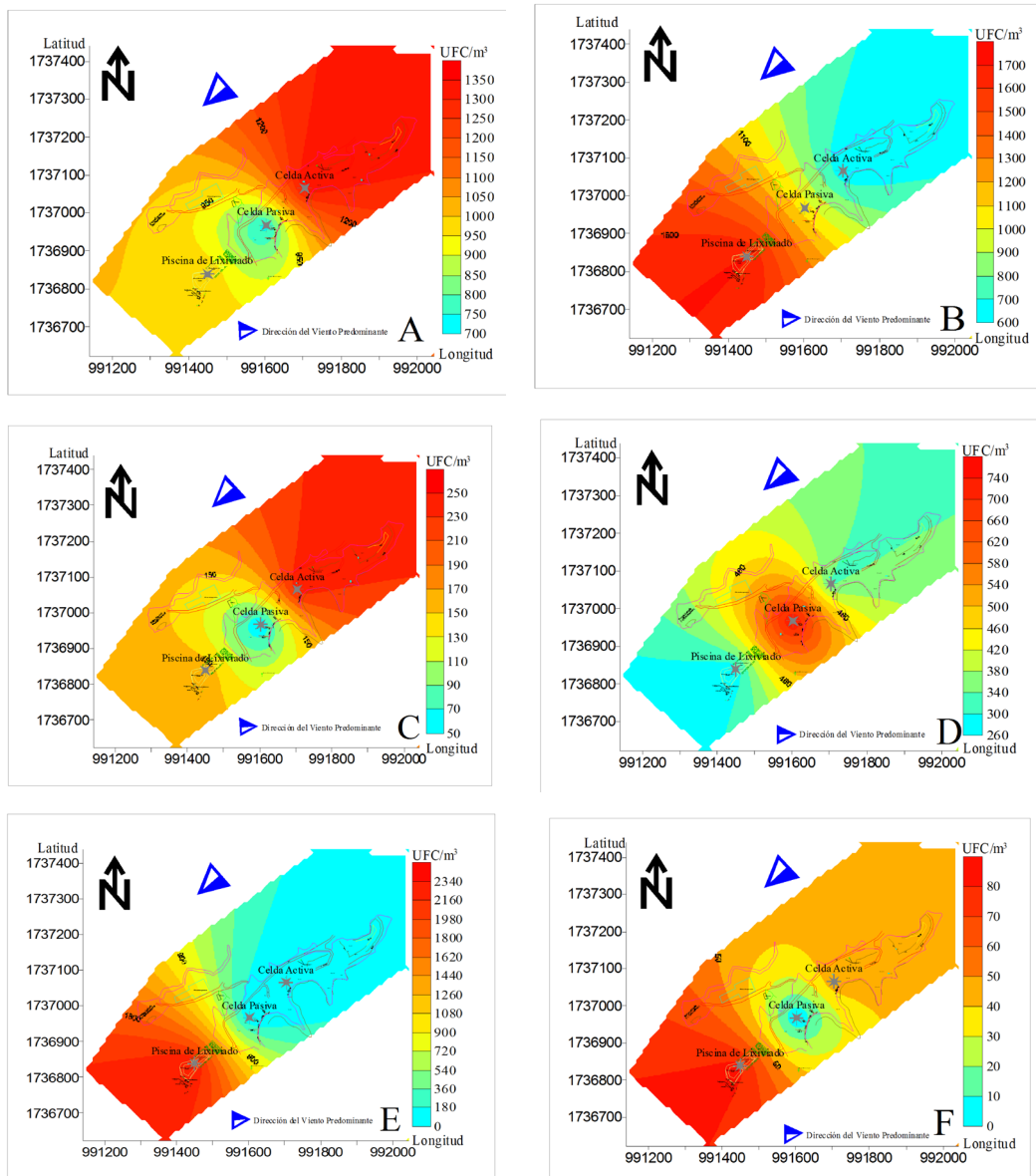


Figura 3. Distribución espacio-temporal de las aerobacterias en las diversas etapas del relleno sanitario Palangana en la jornada de la mañana. De la A - F corresponden a las seis campañas de estudio.

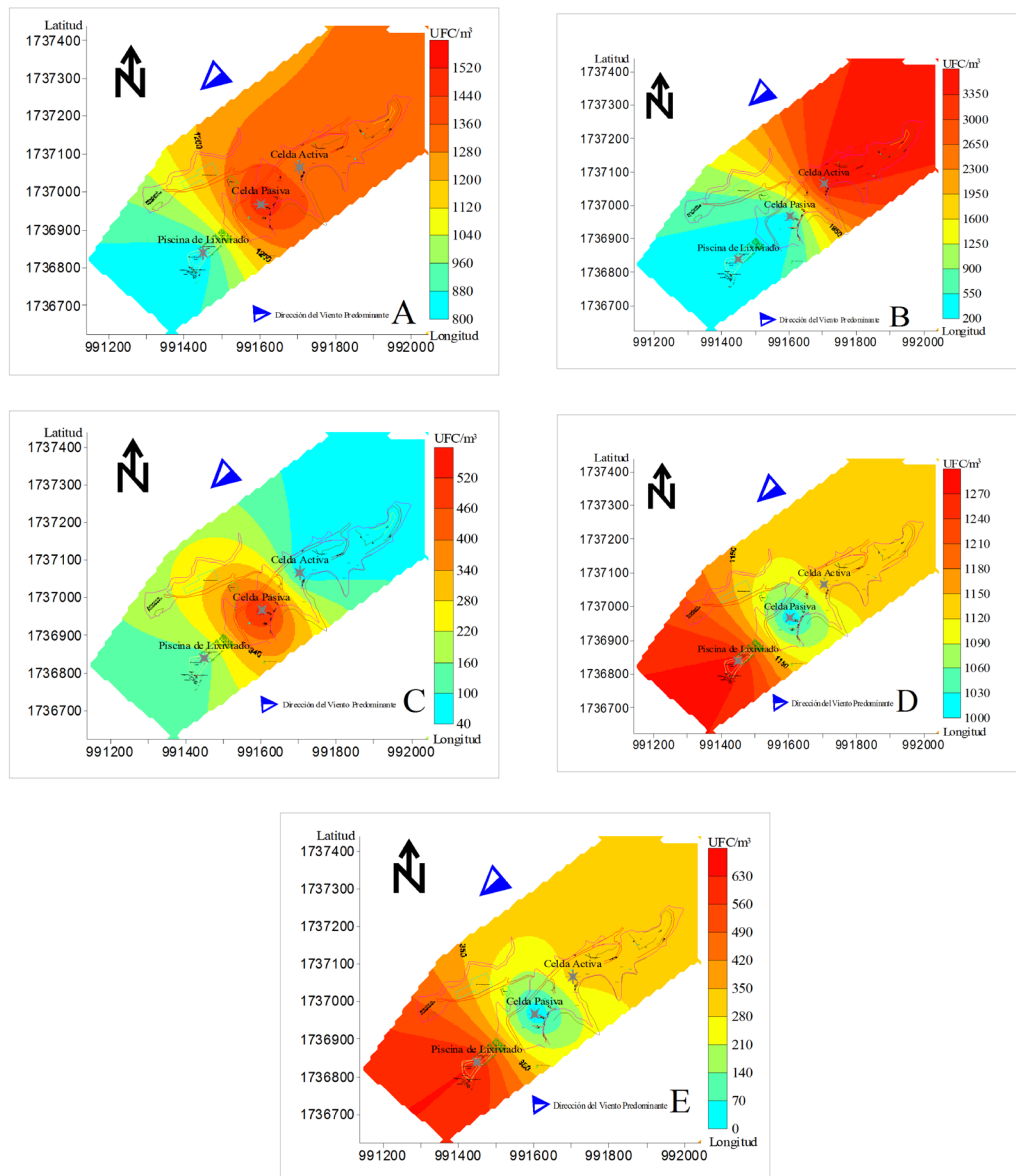


Figura 4. Distribución espacio-temporal de las aerobacterias en las diversas etapas del relleno sanitario Palangana en la jornada de la tarde. De la A - E corresponden a las cinco campañas de estudio..



## Análisis estadístico

Se observó que no existe diferencia significativa que influya la concentración entre los factores (las estaciones de monitoreo), en ninguna de las dos. En la Figura 5 se presenta las medias de los resultados obtenidos en las estaciones de monitoreo en la jornada de la mañana, concluyendo que las concentraciones de aerobacterias aumentan a medida que se alejan de la celda activa; mientras que en la Figura 6 se observa que las medias poblacionales en la jornada de la tarde tienen un comportamiento inverso al de la mañana.



Figura 5. Medias y 95% de Fisher LDS jornada de la mañana

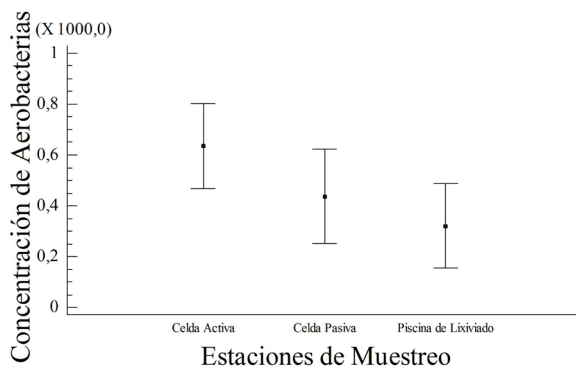


Figura 6. Medias y 95% de Fisher LDS jornada de la tarde

## DISCUSIÓN

Las máximas concentraciones promedio presentadas en la piscina de lixiviados y la celda pasiva en la jornada de la mañana y de la tarde, indican que estas unidades corresponden a las fuentes-área responsables de las mayores emisiones de aerobacterias en el relleno sanitario. Esto en un resultado del proceso

de descomposición de residuos orgánicos colonizados por una abundante y variada flora microbiana, como lo afirman en su revisión de tema Sánchez-Monedero et al. (2006) y sugieren Flores et al. (2007a) en el estudio aerobiológico de la zona aledaña al relleno sanitario San Nicolás, municipio de Aguascalientes (México).

El relleno sanitario Palangana se encuentra ubicado en las proximidades de Bahía Concha (Parque Tayrona), con influencia de la atmósfera de la zona marina, donde Rosas et al., (2004) afirman que se han registrado concentraciones de aerobacterias de 32 UFC/m<sup>3</sup>, que podría considerarse como concentración de fondo para el área de estudio. Los intervalos de concentraciones de bioaerosoles encontrados en distintos puntos dentro de la cadena de tratamiento de residuos orgánicos, según Millner et al. (1994), Nielsen et al. (1997), Sánchez-Monedero y Stentiford (2003) y Sánchez-Monedero et al. (2006), reportan para rellenos sanitarios valores entre 1330 y 2070 UFC/m<sup>3</sup> para bacterias mesófilas. Estos corresponderían a los valores máximos de las concentraciones promedio registradas en el relleno sanitario Palangana en la piscina de lixiviados durante la jornada de la mañana (624 UFC/m<sup>3</sup>) y en la celda pasiva en horas de la tarde (1086 UFC/m<sup>3</sup>). Sin embargo, los valores máximos de concentración de aerobacterias reportados (2320 UFC/m<sup>3</sup> en la piscina de lixiviados en horas de la mañana y 3545 UFC/m<sup>3</sup> en la celda activa durante la jornada de la tarde), superan los intervalos establecidos en la literatura por los autores referenciados y la revisión de algunos estudios sobre aerobacterias efectuada por Lighthart (2000), quien estimó que el número promedio de bacterias totales equivale a 1,9 x 10<sup>5</sup> células/m<sup>3</sup>, de los que aproximadamente el 1 % son cultivables (1,9 x 10<sup>3</sup> células/m<sup>3</sup>).

Las concentraciones de aerobacterias se encuentran fuertemente influenciadas por las condiciones del día. Si se revisa el análisis estadístico de los datos en las diversas jornadas de muestreo, sólo se presentó un grupo homogéneo, a pesar de la variación en las concentraciones. Lo anterior se puede evidenciar en que en las horas de la tarde se registran altos porcentajes de aerobacterias respirables en relación con las jornadas de la mañana. Además, en las horas de la mañana las concentraciones tienen una

tendencia a incrementarse desde la celda activa hacia la piscina de lixiviados en la dirección de los vientos, mientras que en la jornada de la tarde el comportamiento es inverso. Este fenómeno se puede atribuir al hecho que las aerobacterias se ven sometidas a un mayor estrés ambiental que las reportadas debido a los factores considerados de mayor influencia de acuerdo con la literatura (temperatura, humedad relativa y radiación solar). Según Rosas et al. (2004) los sistemas climáticos con fuertes vientos pueden incrementar la concentración, mientras que con la precipitación suelen disminuir como sucede en la 6ª campaña, en la que se presentan los reportes de concentración de aerobacterias más bajos en relación con las campañas anteriores.

La predominancia de aerobacterias respirables en la etapa 6 del impactador de cascada de dos etapas, coincide con el estudio de aerotransportables viables en el área de tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales de Mérida-Yucatán (México) realizado por Rodríguez et al. (2005) y que sostiene que la mayor tendencia a la acumulación de material aerotransportable se evidencia en las etapas 3, 4, 5 y 6 del impactador. Esto confirma la presencia de aerobacterias respirables que resultan perjudiciales a la salud debido a su acumulación en los pulmones, bronquios y alvéolos pudiendo provocar diversas enfermedades alérgicas, respiratorias crónicas e infecciosas graves (Rodríguez et al., 2005; Sánchez-Monedero et al., 2006; Flores et al., 2007a). El riesgo para la salud afecta principalmente al personal que labora en las instalaciones del relleno sanitario y a los habitantes de las comunidades que residen en las proximidades, como lo han documentado ampliamente Stetzenbach (2002), Rodríguez et al. (2005), Sánchez-Monedero et al. (2006) y Flores et al. (2007a).

Igualmente se conoce que las aerobacterias pueden encontrarse en la atmósfera como células independientes, aunque generalmente están asociadas a partículas con diámetros aerodinámicos menores de 0,65 y mayores a 7,0  $\mu\text{m}$ , excepto en zonas costeras donde las aerobacterias se encuentran en rangos de menor valor. Se han registrado casos en los que el 84%

de las partículas transportadoras de bacterias tienen un diámetro aerodinámico promedio de 3,6  $\mu\text{m}$  (Rosas et al., 2004) hecho que respalda los resultados obtenidos en esta investigación en relación a la predominancia de aerobacterias respirables.

La presencia de aerobacterias en el relleno sanitario Palangana, en promedio no superó los valores obtenidos para sitios similares en otras partes del mundo (Huang, 2002; Rodríguez et al., 2005; Sánchez-Monedero et al., 2006; Flores et al., 2007a), sin embargo, la prevalencia de bacterias respirables sugiere la exposición de los trabajadores a organismos patógenos y alérgenos peligrosos para la salud, que sin las condiciones laborales adecuadas (uso de equipo de seguridad) durante el manejo de los residuos orgánicos en las unidades de proceso del relleno sanitario, podría ocasionar afecciones respiratorias o alguna clase de enfermedad ocupacional. La Tabla 2 resume los valores de concentración promedio de aerobacterias obtenidos en estudios realizados en rellenos sanitarios de otros países.

La alta concentración de aerobacterias respirables y sus propiedades aerodinámicas suponen su transporte a varios metros de distancia, donde podrían ser inhaladas y causar alergias e infecciones a los residentes de la zona aledaña al relleno sanitario Palangana. Entre los factores que contribuyen a la generación y dispersión de bioaerosoles está la localización de la planta y su proximidad a núcleos urbanos como posibles receptores (Millner et al., 1994; Environment Agency, 2001).

La distribución espacial y temporal de la concentración de aerobacterias en el relleno sanitario Palangana se ve influenciada por las condiciones meteorológicas del área de estudio, confirmando lo expuesto por Rosas et al. (2004) relacionado con la distribución espacial de las aerobacterias y su dependencia de los flujos y la modulación meteorológica. Además existen registros que demuestran que la liberación de partículas aerotransportables se incrementan en días secos, conforme aumenta la temperatura y la velocidad del viento y se reduce la humedad relativa (Jones y Harrison, 2003), aspecto que

Tabla 2. Concentración promedio de aerobacterias en estudios realizados en rellenos sanitarios de otros países

Concentración promedio de aerobacterias	Localización del estudio	Referencia
101-104 UFC/m <sup>3</sup>	Cinco rellenos sanitarios en Finlandia	Rahkonen et al. (1987)
En invierno: 5.416 UFC/m <sup>3</sup> En verano: 3.165 UFC/m <sup>3</sup>	Relleno Sanitario en Taiwán	Huang et al. (2002)
2,0 x 10 <sup>2</sup> – 1,2 x 10 <sup>4</sup> UFC/m <sup>3</sup>	Dos rellenos sanitarios en Polonia	Lis et al. (2004)
1.139,22 UFC/m <sup>3</sup> de estafilococos en las celdas del relleno sanitario 893,63 UFC/m <sup>3</sup> de estafilococos en la laguna de lixiviados del relleno sanitario	Relleno Sanitario de Mérida-Yucatán (México)	Rodríguez et al. (2005)
4,4 x 10 <sup>3</sup> UFC/m <sup>3</sup>	Relleno Sanitario San Nicolás-Aguascalientes (México)	Flores et al. (2007b)

pudo ser confrontado con los resultados obtenidos durante la 6<sup>a</sup> campaña (reporte de precipitación) y su relación con las anteriores campañas.

## AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Patrimonial de Investigaciones de la Universidad del Magdalena por la financiación de este proyecto de investigación. A la empresa INTERASEO S.A. por ofrecernos las instalaciones del relleno sanitario Palangana. Al Doctor Miguel Ángel Sánchez- Monedero y a las pasantes de microbiología, Luz Parodi y Marisela Mendoza de la Universidad Popular del Cesar por su colaboración técnica y logística en la ejecución del proyecto. A los biólogos Lineth Cantillo Domínguez - coordinadora del laboratorio de microbiología e Isaac Romero Borja - coordinador del laboratorio de calidad de aguas de la Universidad del Magdalena y por su apoyo en las labores de campo a Luis Vélez Pereira, Tatiana Guerrero Vélez, Luis Carlos Guerrero Vélez y Diego Peñaloza Ruiz.

## BIBLIOGRAFÍA

Bovallius, A., B. Bucht, R. Roffey, y P. Anas. 1978. Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden. *App. Environ. Microbiol.* 35: 847-852.

Buttner, M.P., K. Willeke y S.A. Grinshpun. 2002. Sampling and analysis of airborne microorganisms. pp 814-826. En: *Manual of Environmental Microbiology*, 2nd Edition (Ed: C.J. Hurst). ASM Press, Washington.

Canup, N.D. 2000. Andersen Viable (Microbial) Particle Sizing Samplers. Operation Manual (TR#76-900042). Andersen Instrument Inc. Smyrna, GA.

Clark, C.S., H.S. Bjornson, J. Schwartz-Fulton. 1984. Biological health risks associated with the composting of wastewater treatment plant sludge: *J. WPCF.* 56: 1269-1276.

Dimmick, R., H. Wolochow y M. Chatigny. 1979. Evidences that bacteria can form new cells in airborne particles. *Appl. Environ. Microb.* 37: 924-927.

Douwes, J., P. Thorne, N. Pearce y D. Heederik. 2003. Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects: *Ann. Occup. Hyg.* 47(3): 187-200.

Environmental agency. 2001. Technical guidance on composting operations, Draft for external consultation, October 2001. Reino Unido. Disponible en: <http://www.environment-agency.gov.uk/commodata/acrobat/compostin.pdf>.

Fannin, K.F., S.C. Vana y W. Jakabowski. 1985. Effect of an activated sludge wastewater treatment plant on ambient air densities of aerosols containing bacteria and viruses. *Appl. Environ. Microbiol.* 49: 1191-1196.

Flores, F., L. Pardavé y I. Valenzuela. 2007a. Estudio aerobiológico de la zona aledaña al relleno sanitario "San Nicolás", municipio de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia* 15 (37): 13-18.

Flores, F., A. Guerrero, F. Avelar, M. Ramirez, M. Martínez. 2007b. Pathogenic and opportunistic Gram-negative bacteria in soil, leachate and air in San Nicolas landfill at Aguascalientes, Mexico. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 49: 25-30.

García, F. 2002. Determinación de material particulado (Bioaerosoles) emitidos desde el relleno sanitario Curva de Rodas en Medellín. *Ingeniería para El Nuevo Milenio* 1: 57-65

Gilbert, E.J. y C.W. Ward. 1999. Standardised protocol for the sampling and enumeration of airborne microorganisms at composting facilities: The Composting Association, Coventry, UK. 30 p.

Huang, C.Y., C.C. Lee, F.C. Li, Y.P. Ma y H.J. Su. 2002. The Seasonal Distribution of Bioaerosols in Municipal Landfill Sites: a 3-yr Study: *Atmos. Environ.* 36: 4385-4395.

Jensen, P.A. 1998. Sampling and characterization of bioaerosols. pp. 82-112. En: *NIOSH Manual of Analytical Methods*. National Institute for Occupational Safety and Health. US Department of Health and Human Services. Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/chapter-j.pdf>.



- Jones, B. y J. Cookson. 1983. Natural atmospheric microbial conditions in a typical suburban area. *App. Environ. Microbiol.* 45: 919-934.
- Jones A.M. y R.M. Harrison. 2003. The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations – a review. *Sci. Total Environ.* 326: 151 – 180.
- Kiviranta, H., A. Tuomainen, M. Reiman, S. Laitinen, A. Nevalainen y J. Liesivuori. 1999. Exposure to airborne microorganisms and volatile organic compounds in different types of waste handling. *Ann. Agric. Environ. Med.* 6: 39-44.
- Kummer, V. y W. Thiel. 2008. Bioaerosols- Sources and control measures. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* 211: 299-307.
- Lacey, J. y J. Venette. 1995. Outdoor air sampling techniques. pp. 407-471. En: Cox, S. y M. Wathes (Eds.). *Bioaerosols Handbook*. Lewis Publishers; Londres, Gran Bretaña.
- Laitinen, S., J. Kangas, M. Kotimaa, J. Leosovuori, P.J. Martikainen, A. Nevalainen, R. Sarantila y K. Husman. 1994. Worker's exposure to airborne bacteria and endotoxins at industrial wastewater treatment plants. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 55: 1055-1060.
- Lighthart, B. 2000. Mini-review of the concentration variations found in the alfresco atmospheric bacterial populations. *Aerobiologia.* 16: 7-16.
- Lis, D.O., K. Ulfig, A. Wlazlo, y J.S. Pastuszka. 2004. Microbial air quality in offices at municipal landfills. *J. Occup. Environ. Hyg.* 1(2): 62-68
- Lundholm, I.M. 1982. Comparison of methods for quantitative determinations of airborne bacteria and evaluation of total viable counts. *Appl. Environ. Microbiol.* 44: 179-183.
- Malmros, P., T. Sigsgaard y B. Bach. 1992. Occupational health problems due to garbage sorting. *Waste Manage. Res.* 10: 227-234.
- Millner, P.D., S.A. Olenchock, E. Epstein, R. Rylander, J. Haines, J. Walker, B. L. Ooi, E. Horne y M. Maritato. 1994. Bioaerosols associated with composting facilities. *Compos. Sci. Util.* 2(4):6-57.
- Mohr, A.J. 2002. Fate and transport of microorganisms in air. pp 827-838. En: *Manual of Environmental Microbiology*, 2<sup>nd</sup> Edition (Ed: C.J. Hurst). ASM Press, Washington.
- Nielsen, E.M., N.O. Breum, B.H. Nielsen, H. Wurtz, O.M. Poulsen, U. Midtgaard. 1997. Bioaerosol exposure in waste collection: a comparative study on the significance of collection equipment, type of waste and seasonal variation. *Ann. Occup. Hyg.* 41(3): 325-344.
- Peccia, J. y M. Hernandez. 2006. Incorporating polymerase chain reaction-based identification, population characterization, and quantification of microorganisms into aerosol science: A review. *Atmos. Environ.* 40: 3941–3961
- Ranalli, G., P. Principi y C. Sorlini. 2000. Bacterial aerosol emission from wastewater treatment plants: culture methods and bio-molecular tools. *Aerobiologia* 16: 39-46.
- Randall, C. W. y J. O. Ledbetter. 1966. Bacterial air pollution from activated sludge units. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 27(6): 506-519.
- Rankonen, P., M. Ettala y L. Loikkanen. 1987. Working conditions and hygiene at sanitary landfills in Finland. *Ann. Occup. Hyg.* 31: 505-513.
- Reinthalder, F.F., D. Haas, G. Feiler, R. Schlacher, F.O. Pichler-Semmelrock, M. Kock, G. Wust, O. Feenstra, y E. Marth. 1999. Comparative investigations of airborne culturable microorganisms in selected waste treatment facilities and in neighbouring residential areas. *Zenthl. Hyg. Umweltmed.* 202: 1-17.
- Rengasamy, A., Z. Zhuang, y R. Berryann. 2004. Respiratory protection against bioaerosols: Literature review and research needs. *Am. J. Infect. Control.* 32(6): 345-354.
- Rodríguez G.S., R.M. Sauri, A.I. Peniche, A.J. Pacheco y H.J. Ramírez. 2005. Aerotransportables viables en el área de tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales de Mérida, Yucatán. *Ingeniería* 9 (3): 19-29.
- Rosas, I., E. Salinas, L. Martínez, C. Eslava y A. Cravioto. 2004. *Microbiología Ambiental*. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) México Primera edición, 133 p.
- Sánchez-Monedero, M.A. y E.I. Stentiford. 2003. Production and release of airborne micro-organisms at different keypoints in the waste management chain. pp. 612-621- En: *Proceedings of the 4th international conference of ORBIT Association on Biological Processing of Organics: Advances for a Sustainable Society*. Eds. P. Pullammanappalli, A. McComb, L.F. Díaz and W. Bidlingmaier,
- Sánchez-Monedero, M.A., A. Roig, M.L. Cayuela y E.I. Stentiford. 2006. Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos sólidos. *Ingeniería* 10(1): 39-47
- Sánchez-Monedero, M. A., M. I. Aguilar, R. Fenoll, y A. Roig. 2007. Generación de bioaerosoles en estaciones depuradoras de aguas residuales. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY.* 11 (1): 37-42.
- Sergey, A.G. y T. Reponen. 2004. Sampling of Biological Particles from Ambient Environment: Physical Principles, Efficiency, and Exposure Assessment. *International Aerobiology Newsletter.* 59: 1–2.
- Sigsgaard, T., P. Malmros, L. Nersting, C. Petersen. 1994. Respiratory disorders and atopy in Danish refuse workers. *Am. J. Resp. Crit. Care.* 149: 1407-1412.
- Stetzenbach, L.D. 2002. Introduction to aerobiology. pp 801-813. En: *Manual of Environmental Microbiology*, 2nd Edition (Ed: C.J. Hurst). ASM Press, Washington.
- Tisch Environmental Inc. 2006. Cascade Impactor Series 10-8XX Viable (Microbial) Particle Sizing Instruments. Operations Manual. Ohio. USA.
- Toivola, M., S. Alm, T. Reponen, S. Kolari y A. Nevalainen. 2002. Personal exposures and microenvironmental concentrations of particles and bioaerosols: *J. Environ. Monit.* 4: 166–174.
- Tong, Y. y B. Lighthart. 1997. A study of the relationship between pigmented outdoor atmospheric bacteria and solar radiation. *Photochem. Photobiol.* 65: 103-106.

Fecha de recepción: 19/05/2009  
 Fecha de aceptación: 16/04/2010