

186  
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**"AISLAMIENTO DE AEROBACTERIAS EN UNA  
ESTACION DE TRANSFERENCIA DE DESECHOS  
SOLIDOS DE LA CIUDAD DE MEXICO"**

**TESIS DE LICENCIATURA**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**B I O L O G O**

**P R E S E N T A :**

**MARIA EVA SALINAS CORTES**

**FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## C O N T E N I D O

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
OBJETIVOS .....	8
ANTECEDENTES .....	9
CARACTERÍSTICAS DE LAS BACTERIAS GRAM NEGATIVAS .....	13
Enterobacterias .....	13
Endotoxinas .....	16
Bacilos coliformes .....	16
ÁREA DE ESTUDIO .....	17
Sitio de muestreo .....	20
MATERIAL Y MÉTODO .....	22
MUESTREO DE AIRR .....	22
Duración y horario del muestreo .....	22
Altura del muestreo .....	22
Muestreadores .....	22
Tiempo de exposición .....	22
Medios de cultivo para impactación .....	24
Parámetros meteorológicos .....	24
AISLAMIENTO Y DETERMINACIÓN .....	24
ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	24
RESULTADOS .....	26
DISCUSIÓN .....	53
CONCLUSIONES .....	60
RECOMENDACIONES .....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62

## RESUMEN

Se evaluó la concentración de aerobacterias mesofílicas totales y de bacterias Gram negativas en la Estación de Transferencia de Desechos Sólidos "Central de Abastos", en la Ciudad de México, con el objeto de establecer aspectos metodológicos para evaluar la concentración de aerobacterias en un ambiente ocupacional, así como determinar el posible riesgo para la salud de los trabajadores durante el manejo de los desechos. Los muestreos se realizaron de agosto a diciembre de 1989 en cuatro zonas de la estación, durante el horario de mayor actividad en el manejo de desechos (10:00-13:00 hrs.). Se emplearon impactadores de cascada Andersen de dos etapas, los cuales se colocaron a una altura de 2.0 m sobre el nivel del suelo. La concentración de bacterias totales presentó su valor máximo en intramuros (taller-comedor) con 30817 unidades formadoras de colonias (UFC) por  $m^3$ , seguida de la zona de carga de desechos con 14835 UFC  $m^{-3}$ . En las cuatro zonas de estudio la concentración de aerobacterias fue mayor en la etapa no respirable del muestreador. Se aislaron bacterias Gram negativas en más del 90% de las muestras en concentraciones que excedieron frecuentemente las 1000 UFC  $m^{-3}$ . El estudio mostró que las altas concentraciones de aerobacterias son características de lugares donde se manejan desechos sólidos; la frecuencia de aislamiento de *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Citrobacter*, entre otras bacterias Gram negativas, señala la presencia de material fecal, existiendo un riesgo potencial para los trabajadores por la inhalación e ingestión de bacterias patógenas.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de la Aerobiología se inició formalmente en 1930 como una disciplina enfocada a la caracterización de las partículas viables presentes en la atmósfera intra y extramuros, incluyendo tanto sus mecanismos de generación, transporte y depositación, así como los factores físicos, químicos y biológicos que afectan la viabilidad y distribución de dichos organismos (Gregory, 1973; Edmonds, 1979).

Desde el punto de vista de su comportamiento aerodinámico, las partículas biológicas están sujetas a las mismas leyes físicas que las no viables, sin embargo, la permanencia de las partículas viables en la atmósfera depende también de las características biológicas de los propios microorganismos (Cox, 1987). La mayoría de estas partículas presentan un diámetro comprendido entre 0.5 a 100  $\mu\text{m}$  y se pueden aislar como organismos independientes (propágulos o células vegetativas), en forma de aglomerados, o asociados a partículas de tamaño diverso (Edmonds, 1979).

Las bacterias constituyen uno de los grupos más abundantes en el ambiente; en condiciones naturales se les encuentra en el agua, suelo y aire, principalmente aquéllas que forman parte de los organismos desintegradores de la materia orgánica (Campbell, 1987). Algunas especies bacterianas son causantes de diversas patologías en las plantas, los animales y el hombre, por lo que su importancia se refleja no sólo en el campo de la medicina y la fitopatología, sino también en el ámbito social y económico.

Entre las enfermedades producidas al hombre por la transmisión de aerosoles bacterianos en ambientes intramuros y extramuros, se encuentran la tuberculosis pulmonar (*Mycobacterium tuberculosis*), el ántrax (*Bacillus anthracis*), infecciones respiratorias estafilococales y estreptococales (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*), pneumonia (*Diplococcus pneumoniae*), difteria (*Corynebacterium diphtheriae*) e infecciones respiratorias producidas por *Klebsiella pneumoniae*, entre otras (Edmonds, 1979; Davis et al., 1978).

Debido a que las bacterias se dispersan más rápido y su sobrevivencia es menor en ambientes extramuros, la epidemiología en intramuros se presenta con mayor frecuencia, principalmente en ambientes hospitalarios (Groschel, 1980; Kelsen y McGuckin, 1980) y en diversos ambientes ocupacionales relacionados con productos orgánicos, como son la industria papelera (Niemela et al., 1985; Rosas et al., 1988 a), fábricas de hilados de algodón (Lacey y Lacey, 1987) y la industria azucarera (Forster et al., 1989), entre otros.

La mayoría de las aerobacterias aisladas en extramuros son habitantes comunes del suelo (Mancinelli y Shulls, 1976), entre las que se encuentran con mayor abundancia *Micrococcus*, *Aerococcus*, *Staphylococcus* y *Bacillus*. Las concentraciones de aerobacterias registradas en este ambiente fluctúan entre 4 a 4000 UFC m<sup>-3</sup> de aire muestreado (Wright et al., 1969; Bovallius et al., 1978; Mancinelli y Shulls, 1978; Jones y Cookson, 1983; Rosas et al., 1988 b).

El estudio de las aerobacterias en extramuros se ha realizado principalmente en la tropósfera, sin embargo, *Mycobacterium luteum* y *Micrococcus albus* han sido detectadas en la mesósfera, a una altura de 48 a 77 Km de la superficie del suelo (Imshenetsky et al., 1978).

Los factores físicos y químicos de la atmósfera pueden influir en la viabilidad de las aerobacterias, entre éstos se encuentran la temperatura (Ehrlich et al., 1970; Ehrlich y Miller, 1973), la humedad atmosférica (McDade y Hall, 1964; Hatch y Dimmick, 1966), la radiación solar (D'Acoust et al., 1974; Fedorak y Westlake, 1978), el oxígeno (Benbough, 1969), así como el SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> y el CO (Druett y Packmann, 1968; Lighthart, 1971; Lighthart, 1973; Waldner y Botzenhart, 1987).

Algunas bacterias presentan ciertas características que les brindan protección contra estos agentes ambientales, como son la presencia de pigmentos y la capacidad de producir esporas; estas últimas son propias de los grupos de *Bacillus* y *Clostridium* (Freeman, 1989).

Otra característica que presentan las bacterias es su capacidad de replicación bajo condiciones apropiadas de temperatura, humedad y nutrientes. Diversos estudios de laboratorio han probado que las aerobacterias son capaces de multiplicarse si las partículas portadoras son húmedas y contienen nutrientes (Dimmick et al., 1979 a; Dimmick et al., 1979 b).

Debido a que las bacterias carecen de mecanismos activos de liberación, son introducidas en forma natural a la atmósfera a través de la acción del viento y la lluvia sobre el suelo, el agua y las plantas.

El viento puede proporcionar la energía dinámica necesaria para aerolizar las bacterias del suelo y otras superficies (Wright et al., 1969), asimismo, al asociarse con la turbulencia influyen en la concentración de aerobacterias a diferentes alturas. Al medio día, durante el máximo calentamiento, la concentración de bacterias en el aire disminuye por la dispersión que sufren debido a la inestabilidad atmosférica y al transporte convectivo; mientras que en las mañanas y en las noches el número de aerobacterias es mayor (Rosas et al., 1988 b). Sin embargo,

se ha reportado que durante la noche puede disminuir el número de aerobacterias debido a la sedimentación de las mismas (Lindemann y Upper, 1985).

La dispersión de las bacterias depende también de la humedad ambiental. Bajo condiciones secas, una ligera turbulencia incrementa la diseminación de los microorganismos de diferentes superficies, mientras que una turbulencia de mayor magnitud los transporta a grandes alturas. Cuando las superficies se encuentran húmedas la dispersión de los microorganismos disminuye (Fulton, 1966).

En un estudio realizado en Suecia se observó cierta variación en las concentraciones de aerobacterias dependiendo de la época del año, presentándose valores más altos durante el verano y el otoño, y valores más bajos durante el invierno (Bovallius et al., 1978).

La lluvia puede contribuir tanto a disminuir la carga bacteriana por el "lavado" de la atmósfera, como a incrementarlo debido al impacto de las gotas de lluvia sobre diversas superficies (Fulton, 1966; Edmonds, 1979; Bovallius et al., 1978).

Las bacterias epífitas pueden ser removidas de la superficie de las plantas por la acción del viento o la lluvia. Durante la época húmeda del año la vegetación puede contribuir en mayor proporción que el suelo a incrementar la carga bacteriana del aire (Lindemann et al., 1982; Lindemann y Upper, 1985).

Las actividades antropogénicas pueden incrementar considerablemente la concentración de aerobacterias en extramuros. Así por ejemplo, los lodos activados y los filtros percoladores empleados en plantas de tratamiento de aguas residuales, inyectan a la atmósfera grandes cantidades de bacterias, entre las que se encuentran especies potencialmente patógenas como *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Salmonella* (Randall y Ledbetter, 1968; Hickey y Reist, 1975; Fedorak y Westlake, 1980; Willeke y Baron, 1987; Rcsas y Yela, 1989).

Diversos estudios han probado que el tratamiento de las aguas residuales no elimina la totalidad de las bacterias que contienen y su uso en torres de enfriamiento de plantas de energía eléctrica (Adams et al., 1978), o en la irrigación de los campos de cultivo (Teltsch et al., 1980; Brenner et al., 1988), libera un alto número de aerosoles microbianos al ambiente.

Otra fuente potencial de aeropartículas viables la constituyen los centros de manejo de desechos sólidos. En la Ciudad de México diariamente se generan alrededor de 12,000 ton. de desechos, de los cuales una gran proporción la constituyen

materiales putrescibles con un alto grado de humedad, siendo fácilmente colonizados por diversos microorganismos. Los desechos pueden ser contaminados con material de origen fecal debido a la inclusión de pañales desechables y heces de animales (Peterson, 1974), con el subsecuente riesgo de liberar microorganismos potencialmente patógenos.

Después del proceso de recolección, la basura es transportada a una estación de transferencia o directamente al sitio de disposición final. En las estaciones de transferencia los desechos son traspasados y compactados en un tractocamión que se encarga de llevarlos al sitio de disposición final. Durante esta maniobra se desprenden grandes nubes de polvo a las que los trabajadores se encuentran continuamente expuestos.

Previos estudios aerobiológicos (Crook et al., 1987; Lacey, 1989) han establecido que la atmósfera de una estación de transferencia contiene de  $10^3$  a  $10^5$  bacterias por  $m^3$  de aire, incluyendo concentraciones de  $10^2$  a  $10^3$  bacterias Gram negativas por  $m^3$ .

La presencia de bacterias Gram negativas en el ambiente implica el riesgo de inhalar endotoxinas (lipopolisacáridos de la pared celular de las bacterias Gram negativas), las cuales pueden causar reacciones tóxicas en el organismo como irritación e inflamación pulmonar (Surrel y Rylander, 1982; Baseler et al., 1983).

Aunado a este problema se encuentra la falta de planeación en la ubicación de las estaciones de transferencia de basura, que generalmente se encuentran en zonas habitacionales. Actualmente en el Distrito Federal existen 11 estaciones de transferencia de desechos sólidos en funcionamiento y se planea construir cuatro más (Tabla I).

Por lo antes expuesto, es evidente que el manejo de los desechos sólidos puede constituir un riesgo para la salud de los trabajadores y hacia los habitantes cercanos a las estaciones de transferencia debido a la inhalación y/o ingestión de diversos microorganismos, sin embargo, en México no se han realizado estudios aerobiológicos previos para evaluar el riesgo que implica el manejo y la disposición de los desechos, siendo necesarios para establecer medidas de control o de prevención en este ambiente ocupacional.

En la tabla II se presentan los géneros de bacterias aisladas con mayor frecuencia en ambientes extramuros, en plantas de tratamiento de aguas residuales, así como en centros de manejo de desechos sólidos.

Tabla I. Estaciones de Transferencia de desechos sólidos de la Ciudad de México.

Estación de transferencia	Superficie (m <sup>2</sup> )	Manejo (Ton/día)
<b>En funcionamiento:</b>		
Alvaro Obregón I	15 000	500
Azcapotzalco	4 433	280
Benito Juárez	9 596	498
Central de Abastos	9 239	1 500
Coyoacán	4 711	875
Cuauhtémoc	7 300	480
Gustavo A. Madero II	11 400	750
Miguel Hidalgo	6 215	255
Milpa Alta	---	35
Venustiano Carranza	3 925	392
Xochimilco	9 382	340
<b>Proyectadas:</b>		
Alvaro Obregón II	12 000	500
Gustavo A. Madero I	897	865
Iztacalco	13 000	1 000
Tlalpan	18 000	750

Tabla II. Géneros de bacterias aisladas en zonas urbanas, plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y centros de manejo de desechos sólidos (CMDS).

Género	Zona urbana	PTAR	CMDS
<i>Achromobacter</i>		X	
<i>Acinetobacter</i>			X
<i>Actinobacillus</i>		X	
<i>Actinobacterias</i>			X
<i>Aerococcus</i>	X		X
<i>Aerobacter</i>		X	X
<i>Aeromonas</i>		X	X
<i>Alicapigenes</i>		X	X
<i>Bacillus</i>	X	X	X
<i>Chromobacterium</i>			X
<i>Citrobacter</i>		X	X
<i>Clostridium</i>	X		
<i>Corynebacterium</i>			X
<i>Enterobacter</i>			X
<i>Erwinia</i>		X	
<i>Escherichia</i>		X	X
<i>Flavobacterium</i>		X	
<i>Hafnia</i>		X	
<i>Klebsiella</i>		X	X
<i>Lactobacillus</i>	X		X
<i>Leuconostoc</i>	X		
<i>Listeria</i>			X
<i>Micrococcus</i>	X		X
<i>Noraxella</i>			X
<i>Mycobacterium</i>		X	
<i>Neisseria</i>	X		X
<i>Nocardia</i>			X
<i>Paracoccus</i>	X		
<i>Pasteurella</i>		X	
<i>Pediococcus</i>	X		
<i>Peptococcus</i>	X		
<i>Peptostreptococcus</i>	X		
<i>Proteus</i>		X	X
<i>Pseudomonas</i>	X	X	X
<i>Salmonella</i>		X	X
<i>Sarcina</i>	X		
<i>Serratia</i>	X	X	X
<i>Shigella</i>		X	X
<i>Sporolactobacillus</i>	X		
<i>Sporosarcina</i>	X		
<i>Staphylococcus</i>	X	X	X
<i>Streptococcus</i>	X	X	X
<i>Xanthomonas</i>	X		

Referencias: Randall y Ledbetter, 1966; Hickey y Reist, 1975; Pohjola et al., 1977; Mancinelli y Shulls, 1978; Duckett et al., 1980; Lembke y Kniseley, 1985; Crook et al., 1987; Rosas y Yela, 1989.

## OBJETIVOS

1. Establecer aspectos metodológicos para la evaluación de aerobacterias en un ambiente ocupacional.
2. Evaluar cuantitativamente las bacterias mesofílicas aerobias y su variación espacio-temporal en la estación.
3. Determinar a nivel genérico o específico las bacterias Gram negativas presentes en la atmósfera intra y extramuros de la estación.
4. Establecer la posible relación entre los parámetros meteorológicos y el comportamiento de las aerobacterias.
5. Con base en los resultados aerobiológicos plantear el posible riesgo para la salud de los trabajadores durante el funcionamiento de la estación.

## ANTECEDENTES

Actualmente existen pocos estudios aerobiológicos relacionados con el manejo de los desechos sólidos, todos ellos realizados por investigadores extranjeros como Pohjola et al., 1977; Lembke y Kniseley, 1980; Lembke et al., 1981; Clark et al., 1983; Lembke y Kniseley, 1985; Crook et al., 1987; Crook et al., 1988 a, b; y, Crook y Lacey, 1988. Estos autores han encontrado que durante el manejo de los desechos sólidos se desprenden altas concentraciones de polvo de materiales orgánicos e inorgánicos, conteniendo diversos microorganismos potencialmente patógenos. Un alto porcentaje de estas partículas son de tamaño respirable ( $<5 \mu\text{m}$ ), pudiendo distribuirse a nivel torácico, lo que constituye un riesgo para los trabajadores que manejan la basura. Los resultados de estos estudios han mostrado que el tipo y la concentración de microorganismos aislados puede variar debido a la composición de los desechos, ubicación del sitio de muestreo, condiciones meteorológicas, localización geográfica y aparatos empleados para los muestreos.

Debido a las altas concentraciones de aerobacterias presentes en este tipo de ambientes, se han probado métodos alternativos de muestreo, desde la exposición de cajas abiertas (Pohjola et al., 1977), hasta el empleo de diferentes aparatos de muestreo, como son el impactador de cascada Andersen, el impactador de vidrio (AGI-30), el impactador en líquidos por etapas y el muestreador personal de aerosoles por filtración (Lembke et al., 1981; Crook et al., 1988 a; Crook y Lacey, 1988). Mediante la comparación de estos muestreadores se ha observado que las concentraciones de aerobacterias colectadas son mayores en los impactadores en líquidos, seguidos de los muestreadores de aerosoles por filtración y del impactador de cascada Andersen.

Asimismo, diversos estudios han caracterizado cualitativa y cuantitativamente a los microorganismos presentes en la atmósfera de los sitios relacionados con el manejo y tratamiento de la basura.

En Ames, Iowa, se ha evaluado la concentración de aerobacterias generadas por una planta recicladora de desechos sólidos, obteniéndose una concentración promedio del orden de  $10^3$  unidades formadoras de colonias (UFC)  $\text{m}^{-3}$  de aire. Las concentraciones más altas se registraron en el interior de la planta, cerca de las áreas de procesamiento de los desechos, presentándose una disminución del 50% en las aerobacterias totales mediante la instalación de un equipo de control de polvo (Lembke y Kniseley, 1980). Por otra parte, se ha observado cierta estacionalidad en los microorganismos aislados,

registrando valores significativamente más bajos durante los meses de invierno y más altos durante el verano, sin embargo, no se ha encontrado correlación significativa entre los microorganismos aislados y los parámetros de humedad y temperatura (Lebbke y Kniseley, 1995).

Clark y colaboradores (1983) llevaron a cabo un estudio de la concentración de bacterias Gram negativas, endotoxinas y polvo, presentes en el aire de cuatro plantas de compostaje de desechos orgánicos ubicadas en Suecia. En general, las áreas donde se manejaron y procesaron los desechos se encontraron altamente contaminadas, obteniéndose más del 50% de las UFC en la fracción respirable, principalmente en intramuros. Los niveles de polvo fueron moderados y la concentración de endotoxinas inferior a 0.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En Inglaterra, la caracterización del tipo y número de aerobacterias colectadas al inicio y al final del proceso de compostaje, mostró un incremento en la concentración de bacterias termofílicas, tanto en favor como en contra del viento. El número de bacterias Gram negativas colectadas a favor del viento presentó un ligero aumento al final del tratamiento de los desechos, mientras que la concentración de estreptococos fecales sufrió un decremento. Igualmente se observó un gran incremento en la concentración de algunas bacterias termofílicas, exponiendo a los trabajadores a un alto número de microorganismos potencialmente alérgenos (Crook et al., 1988 b).

Los muestreos realizados en varias estaciones de transferencia de basura, sitios de disposición final, plantas incineradoras y de tratamiento de desechos (localizadas en diferentes partes de Inglaterra), mostraron que en más del 90% de las muestras se aislaron bacterias Gram negativas en concentraciones que excedieron frecuentemente las 1000 UFC  $\text{m}^{-3}$ , principalmente en ambientes cerrados, alcanzando una concentración máxima de 208000 UFC  $\text{m}^{-3}$  (Crook et al., 1987).

En México no existen estudios aerobiológicos realizados en centros de manejo y de tratamiento de basura, sin embargo, debido a las características de los desechos y a las condiciones en que se realiza su manejo, es importante llevar a cabo investigaciones sobre la caracterización de aeropartículas viables asociadas a éstos, con el fin de conocer el posible riesgo tanto ocupacional al que están sujetos los trabajadores, así como aquel que implicaría, para la población que vive en los alrededores, un incremento en la concentración de aerobacterias.

En la tabla III se muestran las concentraciones de aerobacterias colectadas en diversos sitios de manejo de desechos sólidos, así como el tipo de muestreadores empleados y los géneros de bacterias aisladas con mayor frecuencia.

Tabla III. Concentraciones de bacterias colectadas en diferentes sitios de manejo de desechos sólidos.

Sitio de muestreo	Concentración (UFC $\mu^{-1}$ )	Aparato de muestreo	Géneros más frecuentes	Referencias
Sitio de disposición	$11-175 \times 10^3$	Cajas expuestas	<i>Aerobacter</i> , <i>Proteus</i> , <i>Acetivibrio</i> , <i>Bacardía</i> , <i>Staphylococcus</i>	Pohlsta et al., 1977.
Planta recicladora de basuras	Media: UT $2.1 \times 10^4$ CF $9.8 \times 10^4$	Anderson de seis etapas  Impactador de vidrio (M1-30)	No reportados	Lambin y Kistler, 1969.
Planta recicladora de basuras	$1.1 \times 10^4 - 2.5 \times 10^4$	Anderson de seis etapas  Impactador de vidrio (M1-30)	No reportados	Lambin et al., 1961.
Planta de compostaje	UM: $10^4 - 37 \times 10^4$	Anderson de seis etapas	<i>Elleubella</i> , <i>Acetivibrio</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Pseudomonas</i>	Clark et al., 1963.
Planta recicladora de basuras	Media: UT $1.7 \times 10^4$ CF $1.2 \times 10^4$ CF $5.8 \times 10^4$ MP $4.8 \times 10^4$	Anderson de seis etapas  Impactador de vidrio (M1-30)	<i>Acetivibrio</i> , <i>Pedococcus</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Burkholderia</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Proteus</i> , <i>Elleubella</i> , <i>Escherichia</i>	Lambin y Kistler, 1969.
Diversos sitios de manejo de basuras	Media: UM $28-29 \times 10^4$	Impactador en líquidos  Colector personal de aerosoles	<i>Pseudomonas</i> , <i>Burkholderia</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Elleubella</i> , <i>Escherichia</i>	Croft et al., 1967.

UFC: Unidades formadoras de colonias; UT: Bacterias totales; UM: Bacterias gram negativas; CF: Coliformos totales; MP: Coliformos fecales; MP: Streptococos fecales;  $\mu^{-1}$  de  $1 \text{ cm}^3$

Tabla III. (Continuación)

Sitio de muestreo	Concentración (NFC n <sup>o</sup> )	Aparato de muestreo	Géneros más frecuentes	Referencias
Diversos sitios de manejo de basura	$7.6-148 \times 10^4$	Andersen de seis etapas Impactador en líquidos Colector personal de aerosoles	No reportados	Crook et al., 1968 a.
Planta de compostaje	BT: $0.03-1103.8 \times 10^4$ GBB: $<0.01-23.4 \times 10^4$	Impactador en líquidos Colector personal de aerosoles	No reportados	Crook et al., 1968 b.
Estación de transferencia	BT: $10^4-10^5$	Andersen de seis etapas Impactador en líquidos Colector personal de aerosoles	No reportados	Crook y Lacey, 1968.

NFC= Unidades formadoras de colonias; BT= Bacterias totales; GBB= Bacterias gram negativas.

## CARACTERÍSTICAS DE LAS BACTERIAS GRAM NEGATIVAS

La tinción diferencial de Gram divide a las bacterias en dos grandes grupos: bacterias Gram positivas y bacterias Gram negativas. La reacción de las bacterias frente a la tinción de Gram refleja diferencias fundamentales entre los dos grupos de bacterias, principalmente a nivel de composición de la pared celular.

Se ha propuesto que existe una diferencia de permeabilidad entre los dos grupos de bacterias, de tal forma que cuando el colorante primario tiñe la pared de las bacterias, éste queda atrapado dentro de los organismos Gram positivos, debido a que la pared se deshidrata por la acción del decolorante (alcohol) haciéndola menos permeable. En las bacterias Gram negativas, por el contrario, el solvente orgánico permite eliminar el colorante primario debido al mayor contenido de lípidos en su pared (Freeman, 1969).

En las bacterias Gram positivas la envoltura celular está compuesta por una membrana citoplasmática y una pared celular formada por varias capas de peptidoglucano, con un grosor de 15-20 nm.

La envoltura celular de las bacterias Gram negativas está formada por una membrana citoplasmática y una pared celular, constituida a su vez por una membrana externa y una fina capa de peptidoglucano. El grosor de esta pared es de 10-15 nm y es, por lo tanto, más delgada que la pared de las bacterias Gram positivas (Davis et al., 1978).

Las características de la envoltura celular de las bacterias Gram negativas se explicará con mayor detalle en la descripción de las enterobacterias.

### ENTEROBACTERIAS

La familia Enterobacteriaceae comprende bacilos Gram negativos, no esporulados, frecuentemente móviles. Se presentan formas capsuladas y no capsuladas. Estos microorganismos se encuentran normalmente formando parte de la flora normal del intestino de los vertebrados, aunque algunos de sus géneros son saprófitos o parásitos de ciertas plantas y animales. Presentan metabolismo respiratorio y fermentativo. Durante la fermentación de la D-glucosa se presenta la formación de ácido y con frecuencia de gas. Todas las especies son oxidasa negativa. El

nitrato es reducido a nitrito, excepto por algunas cepas de *Erwinia* y *Yersinia*. La clasificación del grupo se basa en una serie de características bioquímicas y en la determinación de su estructura antigénica (Jones, 1988). La familia incluye saprófitos, parásitos y formas patógenas del hombre, animales y plantas.

La envoltura celular de las enterobacterias está formada por una membrana citoplásmica y una pared celular, la cual se compone a su vez de una membrana externa y una capa de peptidoglucano (Fig. 1). La membrana citoplásmica está constituida por fosfolípidos y proteínas; contiene un gran número de enzimas y permeasas. La membrana externa presenta tres componentes: fosfolípidos, proteínas y lipopolisacáridos (LPS), este último es un componente único y característico de la membrana externa de todas las bacterias Gram negativas. La parte lipídica del LPS se encuentra dentro de la membrana, mientras que la cadena de polisacáridos O-antigénica está expuesta en la cara externa de la membrana (Lambert, 1988).

La membrana externa prácticamente está desprovista de actividad enzimática (con pocas excepciones) y presenta alrededor de  $10^5$  moléculas de proteínas por célula. Un grupo de estas proteínas lo constituyen las porinas, cuya función es la de formar canales acuosos (poros) a través de la membrana externa, los cuales permiten el paso de moléculas de bajo peso molecular. El otro grupo de proteínas son las lipoproteínas que pueden estar unidas covalentemente con la capa de peptidoglucano.

Entre la membrana citoplásmica y la externa existe una capa de peptidoglucano. Esta capa es vital para la sobrevivencia de las células, ya que forma un esqueleto básico al cual se unen los demás componentes de la membrana. Es responsable del tamaño, la forma y la integridad celular. Las interferencias en la síntesis de peptidoglucano, por ejemplo a través de la acción de antibióticos, puede resultar en la pérdida de la forma celular y en la muerte de la misma (Lambert, 1988).

La capa de peptidoglucano está situada en el espacio periplásmico, en el que se encuentran un gran número de moléculas, incluyendo nutrientes, proteínas y enzimas. En el periplasma se acumulan las proteínas de exportación, como son las toxinas y las enzimas extracelulares.

La superficie externa de las células puede estar rodeada por una capa gelatinosa llamada cápsula, que generalmente es de naturaleza polisacárida (exopolisacáridos), existiendo gran variación en cuanto a su composición y complejidad. Esta matriz protege a las bacterias de la desecación, de la acción de metales pesados y de los virus bacterianos (Freeman, 1989).

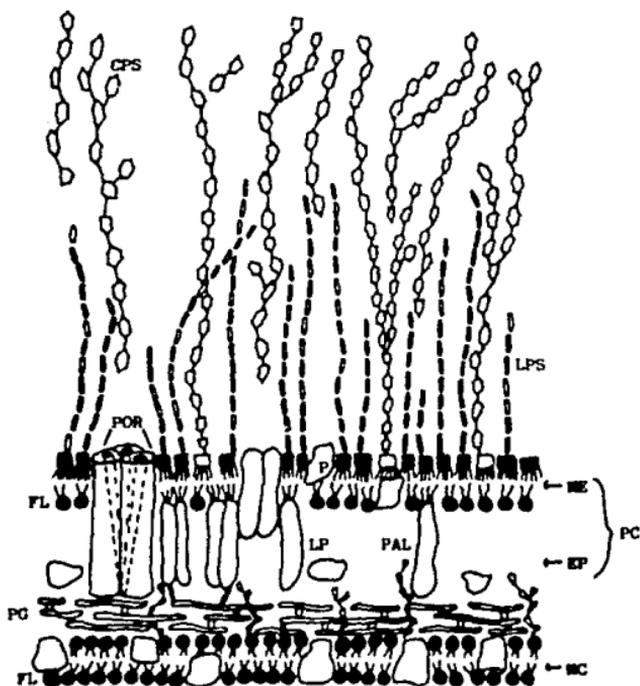


Figura 1. Representación esquemática de un corte de la envoltura celular de las Enterobacteriaceae. MC, membrana citoplasmática; PC, pared celular; EP, espacio periplásmico; ME, membrana externa; PG, peptidoglucano; FL, fosfolípido; LP, lipoproteína; PAL, peptidoglucano asociado a lipoproteína; P, proteína; POR, proteína porina; LPS, lipopolisacárido; CPS, cápsula polisacárida.

## ENDOTOXINAS

Las enterobacterias presentan actividad endotóxica, producida por los lipopolisacáridos (LPS) de la membrana externa; el efecto que producen en animales de laboratorio y en infecciones naturales es múltiple, incluyendo fiebre y shock. Los LPS están constituidos por la región del lípido A, unida a la región polisacárida, la cual está formada por un centro interior y un antígeno somático-O externo (Scotland, 1988). El lípido A es el principal componente endotóxico del LPS y presenta una estructura similar en todos los miembros de la familia Enterobacteriaceae.

En general se cree que las endotoxinas intervienen en forma definitiva en la producción de alteraciones vasculares, metabólicas y hematológicas durante el curso de diversas infecciones Gram negativas graves, sin embargo, los estudios al respecto son escasos (Davis et al., 1978).

## BACILOS COLIFORMES

El término de coliformes se aplica en general a los bacilos Gram negativos capaces de fermentar la lactosa que habitan el conducto intestinal del hombre y de otros animales, sin dar lugar a procesos patológicos. Los bacilos entéricos que se incluyen en este grupo son *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* e incluyen por otras razones bioquímicas a *Serratia* y *Edwardisella*. Aunque en su hábitat natural estos microorganismos son inocuos, al alcanzar los tejidos que rodean el conducto intestinal producen procesos patológicos, especialmente en los casos de individuos inmunodeprimidos (Davis et al., 1978). Los organismos coliformes constituyen en la actualidad uno de los agentes etiológicos más frecuentes de diversas infecciones endógenas y nosocomiales.

## ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la Estación de Transferencia de Desechos Sólidos "Central de Abastos", situada dentro de la Delegación Política de Iztapalapa, al sureste de la Ciudad de México. Esta delegación limita al norte con la delegación de Iztacalco, al sur con Tlahuac y Xochimilco, al oeste con Benito Juárez y Coyoacán, y al este con Nezahualcoyotl del Estado de México. La superficie de la delegación es de 11,940 ha., equivalente al 7.8% del territorio del Distrito Federal.

Según el sistema de Köppen (1948), la zona este del Distrito Federal presenta características semiáridas (BS), con una precipitación anual entre 400 y 600 mm. La escasez de lluvias y la elevada insolación características de este clima, originan mayor amplitud en la oscilación térmica diaria. Las heladas son más frecuentes y la radiación solar más abundante e intensa (Jáuregui, 1975). En la tabla IV se presentan las principales características meteorológicas del oriente del Distrito Federal.

La estación de transferencia está ubicada dentro de los límites de la Central de Abastos de la Ciudad de México. Las principales vías de acceso son Canal de Churubusco, Río Churubusco y Apatlaco (Fig. 2).

La superficie que ocupa la estación de transferencia es de 9,239 m<sup>2</sup>; el área circundante es relativamente plana, al norte existen zonas habitacionales, al sur y al este limita con espacios abiertos con pocos árboles y al oeste se encuentra parte de las instalaciones de la Central de Abastos. Diariamente se transfieren alrededor de 1,500 ton. de desechos domiciliarios y municipales, provenientes de la Central de Abastos, de la Dirección General de Servicios Urbanos y de las Delegaciones Iztapalapa, Iztacalco y Cuauhtémoc. En esta estación de transferencia se maneja una gran cantidad de desechos orgánicos provenientes de la Central de Abastos (aproximadamente 380 ton./día). De esta zona la basura es transportada al relleno sanitario Bordo Poniente, localizado en el Vaso de Texcoco.

La estación de transferencia funciona de lunes a viernes con turno y medio de actividad (6:00-17:00 hrs.) y un turno (6:00-12:00 hrs.) los sábados y domingos. Se presentan dos picos en el horario de manejo de desechos que son de 10:00-12:00 y de 14:00-18:00 hrs., sin embargo la transferencia de basura es continua y generalmente los camiones recolectores esperan un tiempo considerable antes de descargar los desechos.

Tabla IV. Principales características meteorológicas de la zona oriente de la Ciudad de México (Jauregui, 1975).

Características meteorológicas	Grado
Nivel de contaminación	Moderado
Grado de ventilación	Buena
Oscilación térmica	Alta
Humedad ambiente	Seco
Frecuencia de lluvias	Baja
Frecuencia de tolvaneras	Alta
Frecuencia de heladas	Alta
Frecuencia de nublados	Baja
Frecuencia de tormentas eléctricas	Alta

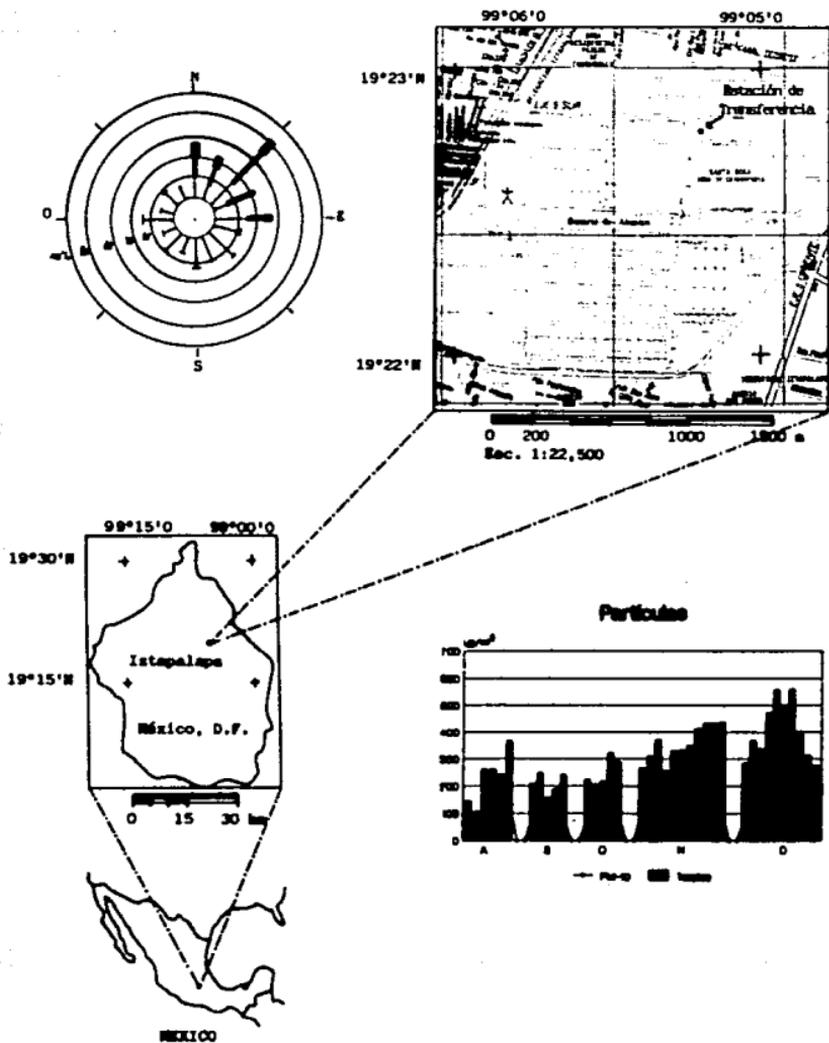


Figure 2. Localización del área de estudio.

Durante el período de muestreo en la zona este de la Ciudad de México se registraron vientos dominantes en el arco N-E, observándose una predominancia de la ráfidez del viento entre 3-6 m/s. La concentración de partículas totales fluctuó entre 103-558  $\mu\text{g m}^{-3}$  y la de partículas menores de 10  $\mu\text{m}$  (PM 10) entre 35 a 128  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

#### Sitio de muestreo

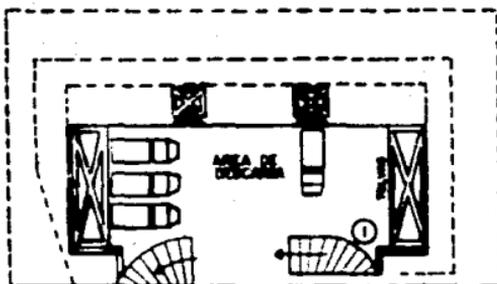
Para llevar a cabo el aislamiento de aerobacterias se ubicaron cuatro zonas de muestreo (Fig. 3):

1. Área de descarga de desechos sólidos, a dos metros de distancia de las tolvas
2. Área de carga de desechos, a seis metros de distancia por debajo de las tolvas
3. Muestreo en intramuros, realizado en el taller-comedor de la estación de transferencia.
4. Exterior de la estación de transferencia, a sesenta metros de distancia de las tolvas

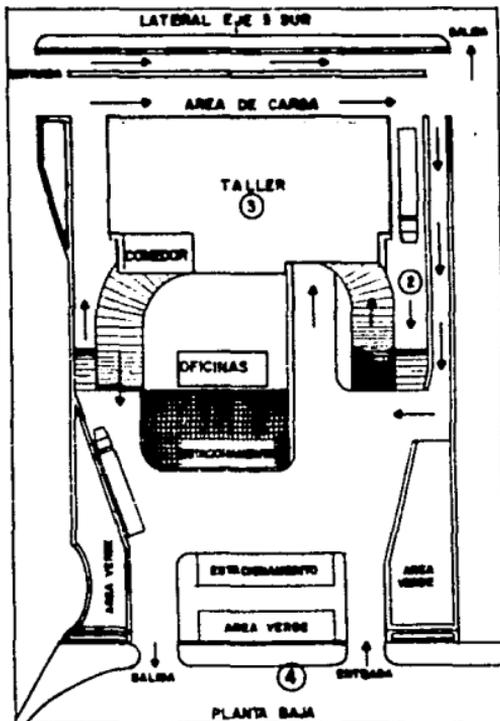
Los dos primeros sitios de muestreo en extramuros se eligieron por ser las zonas de mayor actividad en la estación de transferencia, así como por el contacto que tienen los trabajadores con los desechos sólidos y con las partículas que se desprenden al momento de la descarga de los mismos.

El muestreo en intramuros se realizó en el área de servicios de la estación de transferencia (taller de herrería, mecánica, bodega y comedor).

En el exterior de la estación se muestreó a favor del viento con la finalidad de comparar la concentración de aerobacterias al ser dispersadas en el aire.



PLANTA ALTA



PLANTA BAJA

Figura 3. Ubicación de los sitios de muestreo: (1), área de descarga de desechos; (2), área de carga; (3), taller-comedor; (4), exterior (a favor del viento).

## MATERIAL Y MÉTODO

### MUESTREO DE AIRE

#### Duración y horario del muestreo

Se llevaron a cabo un total de 12 muestreos durante el período comprendido entre agosto a diciembre de 1989, realizándose una vez por semana en el horario de mayor actividad en el manejo de desechos (10:00-13:00 hrs.).

#### Altura del muestreo

Los muestreadores se colocaron en dos torres de aluminio a una altura de 2 m. sobre el nivel del suelo, siendo la altura muestreada en investigaciones aerobiológicas relacionadas con cuestiones de salud para la caracterización y determinación de partículas potencialmente respirables.

#### Muestreadores

Para llevar a efecto este estudio se emplearon impactadores de partículas viables Andersen de dos etapas (Andersen Sampler Inc., 1984).

Los muestreadores se componen de dos placas de aluminio con 200 orificios, cuyo diámetro es de 1.5 mm. en la primer etapa y de 0.4 mm. en la segunda (Fig. 4). Debajo de cada placa se coloca una caja de Petri conteniendo 20 ml. de medio de cultivo. El aire muestreado pasa en forma consecutiva a través de los orificios de la primera y segunda etapa, impactando los microorganismos directamente sobre la superficie del agar. El flujo de aire se mantiene constante a 28.3 l/min (1 pie<sup>3</sup>/min.) por medio de una bomba de vacío que se conecta directamente al muestreador.

Las partículas con un diámetro aerodinámico > 5 µm son colectadas en la etapa número uno y las partículas < 5 µm en la etapa número dos.

#### Tiempo de exposición

La duración de cada muestreo estuvo en función del sitio de los mismos (debido a las condiciones prevaecientes por el manejo de los desechos) y del medio de cultivo empleado. En las áreas de carga y descarga de desechos se muestreó de 5-10 min., en el taller-comedor (intramuros) 5 min. y en el exterior de la estación de transferencia de 10 a 15 min.

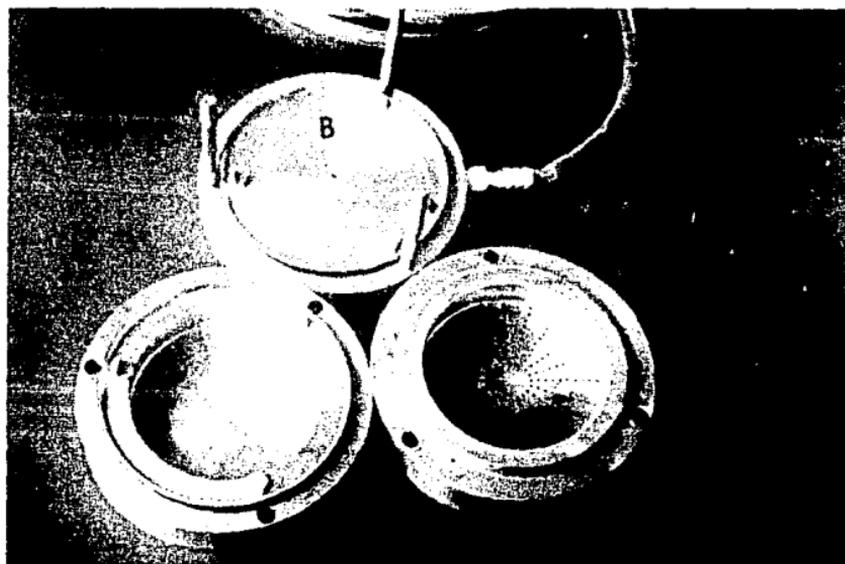
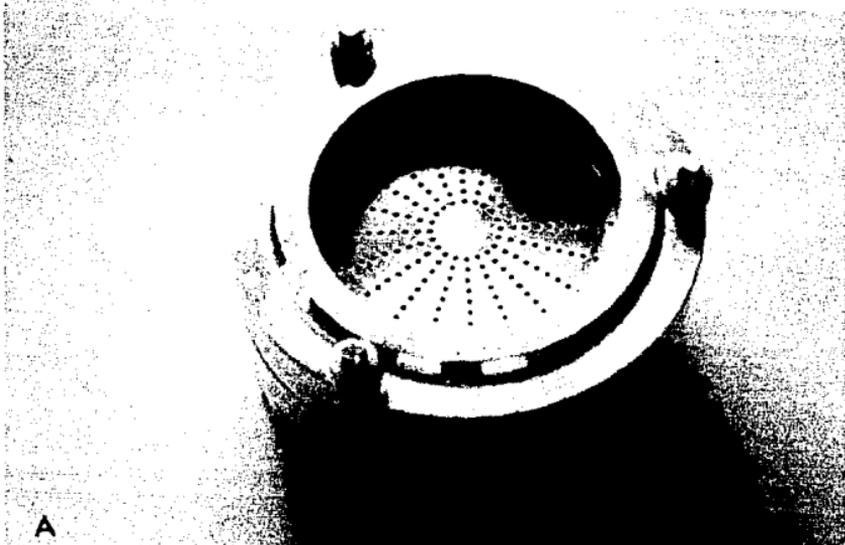


Figura 4. Impactador de cascada Andersen de dos etapas (A).  
(B), fracción no respirable y respirable.

### Medios de cultivo para impactación

Para la impactación de bacterias mesofílicas aerobias totales se utilizó Agar de Soya Trypticaseína (TSA) (BIOXON), adicionado con 0.5 g/l de cicloheximida (SIGMA) como inhibidor del desarrollo de hongos; para el aislamiento de bacterias Gram negativas se emplearon Agar McConkey (BIOXON) y Agar de Bilis Rojo Violeta (BIOXON).

### Parámetros meteorológicos

Durante cada muestreo se registraron los parámetros meteorológicos prevaletentes en el lugar, al inicio y al final de cada muestreo, así como las condiciones atmosféricas de nubosidad y visibilidad. La temperatura ambiente y la humedad atmosférica (expresada en presión de vapor) se tomaron con un psicrómetro de honda (Imperial Eastman de México); la velocidad y dirección del viento se registraron con un anemómetro manual (Lambrecht).

### AISLAMIENTO Y DETERMINACIÓN

Una vez realizado cada muestreo las cajas de Petri expuestas se incubaron a una temperatura de 35°C durante 24-48 horas.

Después del tiempo de incubación se hizo una estimación cuantitativa de las colonias desarrolladas con ayuda de un contador de colonias y un estereomicroscopio.

Las colonias desarrolladas en el Agar McConkey y en el Agar de Bilis Rojo Violeta se resembraron en los mismos medios hasta obtener las cepas puras y se les aplicó la tinción de Gram y la prueba de KOH al 3% (Pérez et al., 1987), obteniéndose la proporción de bacterias Gram negativas colectadas durante los muestreos. La determinación de las bacterias Gram negativas, a nivel genérico o específico, se realizó por medio de pruebas bioquímicas según Mac Faddin (1984), Murray et al. (1984), Pérez et al. (1987); Koneman et al. (1989) y O'Leary (1989). Para el aislamiento de *Salmonella* se utilizó agar para *Salmonella* y *Shigella* (SS Agar) y se determinaron por medio de un equipo de microtitulación de pruebas bioquímicas para bacterias entéricas (Biotest ID-GNI).

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizado el recuento de las colonias desarrolladas, se corrigió el error de sobreposición en la cuenta microbiana según la fórmula de Niemela et al., 1985:

$$C = N \ln \frac{N}{N - P}$$

Donde:

- C= Cuenta corregida de colonias por etapa  
N= Número de orificios en la placa perforada (200)  
P= Número de orificios positivos (colonias desarrolladas)

De esta manera se obtuvo el número de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) en cada etapa del muestreador. La suma de las concentraciones obtenidas en las dos etapas, proporcionan el número total de UFC aisladas durante el muestreo.

Debido a que la velocidad del flujo de aire se mantuvo constante a 1 pie<sup>3</sup> por minuto (28.3 l/min), el volumen de aire aspirado fue igual al número de minutos muestreados; por lo tanto, al dividir el número total de UFC entre el tiempo de muestreo, se obtuvo la concentración total de UFC pie<sup>-3</sup> de aire (Andersen Sampler Inc., 1984). Para hacer la transformación de pie<sup>3</sup> a m<sup>3</sup> se multiplicó por una constante, K= 35.

$$\bar{X} \text{ UFC m}^{-3} = \frac{\text{UFC de todas las etapas}}{t} (K)$$

Donde:

- UFC= Unidades formadoras de colonias  
t= tiempo total de muestreo (min)  
K= constante de conversión de pie<sup>3</sup> a m<sup>3</sup> (35)

## RESULTADOS

Las concentraciones de aerobacterias registradas durante el muestreo en la estación de transferencia de basura presentaron una gran variabilidad, no ajustándose a una curva de distribución normal, por lo que los parámetros estadísticos considerados son las medias tanto geométrica como aritmética.

En general los valores más altos de aerobacterias (incubadas a 35°C) se registraron en el taller-comedor y los valores más bajos en el exterior de la estación de transferencia (a favor del viento), en donde se obtuvo una media geométrica de 10128 y 1116 unidades formadoras de colonias (UFC) m<sup>-3</sup>, respectivamente (tabla V).

Las concentraciones de aerobacterias totales (35°C) obtenidas durante el periodo de muestreo se muestran en la figura 5. Para cada zona se marcan las medias aritmética y geométrica, así como la concentración máxima.

En la figura 6 se muestra la relación entre las concentraciones de aerobacterias totales (35 °C) y el porcentaje de bacterias asociadas a la fracción respirable. En las áreas de descarga y carga de desechos se observó una ligera tendencia al aumento del porcentaje de la fracción respirable conforme se incrementó la concentración de aerobacterias, mientras que en el taller-comedor y en el exterior de la estación no se observó ninguna relación.

La concentración promedio de aerobacterias (35°C) obtenida en la fracción respirable y no respirable del muestreador Andersen está representada en la figura 7. La mayor concentración se presentó en la fracción no respirable, obteniéndose los valores más altos en el taller-comedor con un promedio de 6570 UFC m<sup>-3</sup> y los más bajos en el exterior de la estación de transferencia con 1278 UFC m<sup>-3</sup>. Estas zonas registraron también la mayor y la menor concentración de aerobacterias aisladas en la fracción respirable, con 5728 y 278 UFC m<sup>-3</sup> respectivamente, que representan el 48% y el 23% de las bacterias totales colectadas en estas áreas.

La aplicación de la prueba estadística no paramétrica de Mann Whitney entre las cuatro zonas muestreadas (Tabla VI) señaló que los valores registrados en las zonas de carga y descarga de basura, así como en el taller-comedor, no presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), pero los muestreos tomados en el exterior de la estación sí presentaron diferencia significativa con respecto a las demás zonas muestreadas.

Tabla V. Concentración (UFC  $m^{-3}$ ) de aerobacterias totales (35°C) aisladas en las cuatro zonas de muestreo.

Zona de muestreo	Valor		Media	
	Mínimo	Máximo	Aritmética	Geométrica
Descarga de desechos	2207	14836	7815	6743
Carga de desechos	350	14836	6999	5038
Taller-Comedor	2222	30817	12298	10128
Exterior (a favor del viento)	271	4216	1554	1116

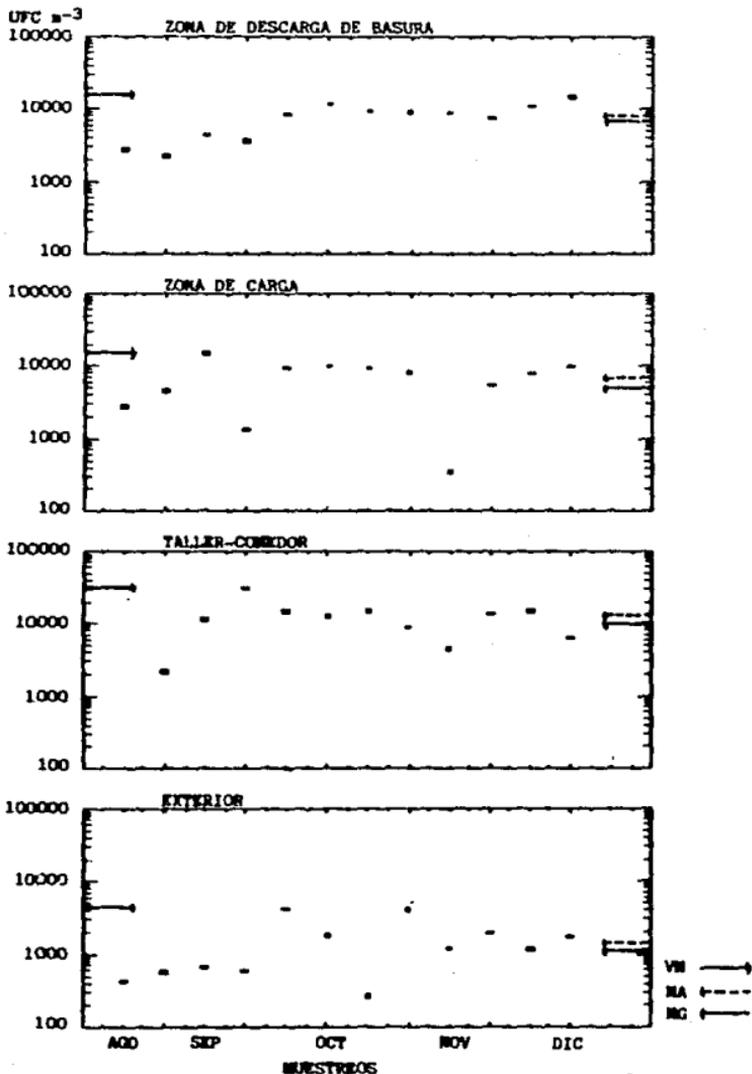


Figura 5. Concentración de aerobacterias totales ( $UFC\ m^{-3}$ ) en las cuatro zonas de estudio. Valor máximo (VM), Media geométrica (MG), Media aritmética (MA).

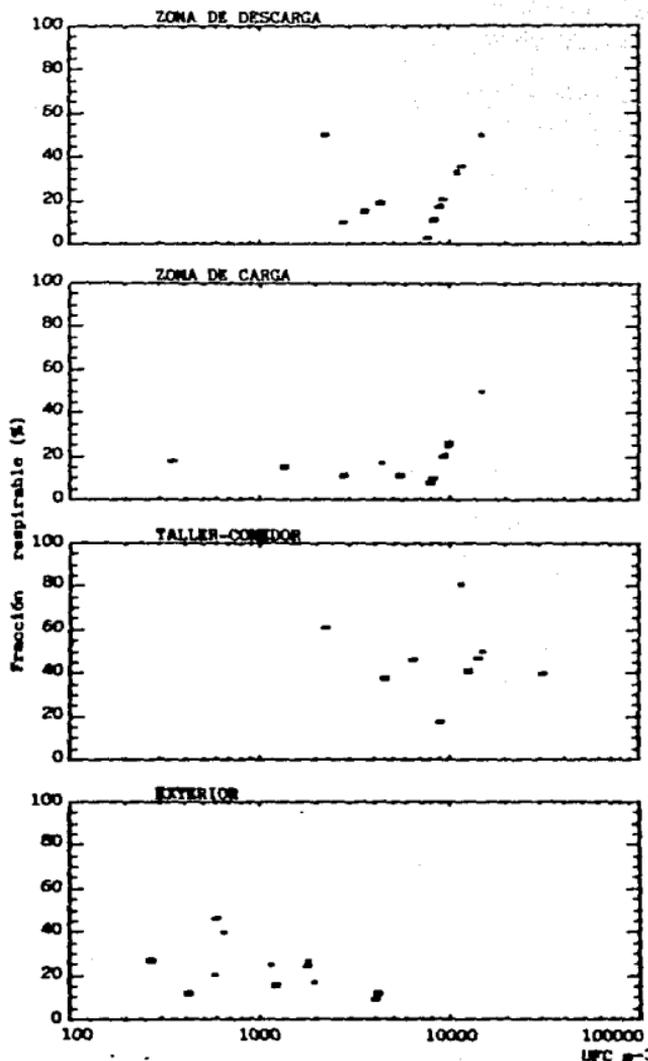


Figura 6. Relación entre las concentraciones de aerobacterias totales y el porcentaje de la fracción respirable.

## BACTERIAS TOTALES

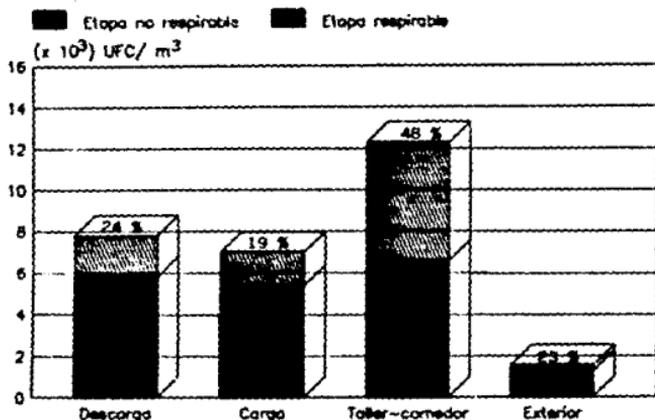


Figura 7. Concentración promedio (UFC m<sup>-3</sup>) de aerobacterias aisladas en las etapas no respirable y respirable del muestreador Andersen y porcentaje de la fracción respirable.

Tabla VI. Valores obtenidos con la aplicación de la prueba estadística no paramétrica de Mann Whitney entre las cuatro zonas muestreadas.

Zona	Zona	Carga de desechos	Taller-Comedor	Exterior (a favor del viento)
Descarga de desechos		-0.289	1.728	-3.782*
Carga de desechos		-	1.913	-3.089*
Taller-comedor		-	-	3.912*

H<sub>0</sub>: Los valores son similares  
 a = Se rechaza la H<sub>0</sub> a p < 0.05

En 1987 Boutin y colaboradores propusieron un modelo para la protección de ambientes ocupacionales, estableciendo diferentes grados de contaminación con base en niveles de partículas viables (Boutin et al., 1967). A partir de este modelo en la tabla VII se presenta el porcentaje de las muestras tomadas en cada una de las zonas de estudio que excedieron dichos niveles. El 58% de las muestras en las áreas de descarga y carga de desechos sólidos excedieron las 8000 UFC  $m^{-3}$ , mientras que en el taller-comedor el 82% de los eventos sobrepasaron este nivel, quedando estas tres zonas dentro de la clasificación de ambientes fuertemente contaminados. En el exterior (a favor del viento) el 56% de las muestras presentaron más de 800 UFC  $m^{-3}$ , clasificado como ambiente contaminado.

Las concentraciones de bacterias Gram negativas (BGN) aisladas durante todo el período de muestreo se encuentran registradas en la figura 8. Las concentraciones más altas se presentaron en la zona de carga y las más bajas en el exterior de la estación con una media geométrica de 464 y 18 UFC  $m^{-3}$  respectivamente. El valor más alto de BGN se registró en el área de carga con 4480 UFC  $m^{-3}$ .

En las zonas de descarga y carga de basura, así como en el taller-comedor, se obtuvieron BGN en más del 90% de las muestras en concentraciones que excedieron frecuentemente las 1000 UFC  $m^{-3}$ . En el exterior se registró el menor porcentaje de las muestras con BGN y generalmente no sobrepasaron las 1000 UFC  $m^{-3}$  (Tabla VIII).

En la zona de carga de desechos las bacterias Gram negativas constituyeron el 21% de las bacterias totales, mientras que en el exterior de la estación y en el taller-comedor sólo el 3% de las bacterias totales corresponde a las bacterias Gram negativas. En las cuatro áreas de estudio se registraron bacterias coliformes que constituyeron del 18% al 29% de las bacterias Gram negativas aisladas.

En la figura 9 se presenta la concentración promedio de BGN obtenidas en la fracción no respirable y respirable del muestreador Andersen. La mayor concentración de BGN se colectó en la etapa no respirable, principalmente en la zona de carga con una concentración media de 1420 UFC  $m^{-3}$ ; esta zona presentó también la mayor concentración de BGN en la fracción respirable, con un promedio de 128 UFC  $m^{-3}$  que corresponden al 8% de las BGN totales aisladas en esta zona. En el exterior de la estación de transferencia se registraron los valores más bajos de BGN en las dos etapas del muestreador.

La figura 10 ilustra las cajas de Petri con desarrollo de aerobacterias totales (35°C) y de bacterias Gram negativas, en las etapas no respirable y respirable del muestreador Andersen.

Tabla VII. Niveles de partículas viables establecidos para la protección de ambientes ocupacionales (Boutin et al., 1987).

Clasificación (UFC m <sup>-3</sup> )	Porcentaje de eventos que excedieron el nivel establecido			
	Zona de muestreo			
	Descarga de desechos	Carga de desechos	Taller-Comedor	Exterior de la ET
No contaminado (< 200)	-	-	-	-
Ligeramente contaminado (> 200)	100	100	100	100
Contaminado (> 800)	100	92	100	58
Muy contaminado (> 2500)	92	83	91	17
Fuertemente contaminado (> 8000)	58	58	82	-

UFC= Unidades formadoras de colonias; ET= Estación de transferencia

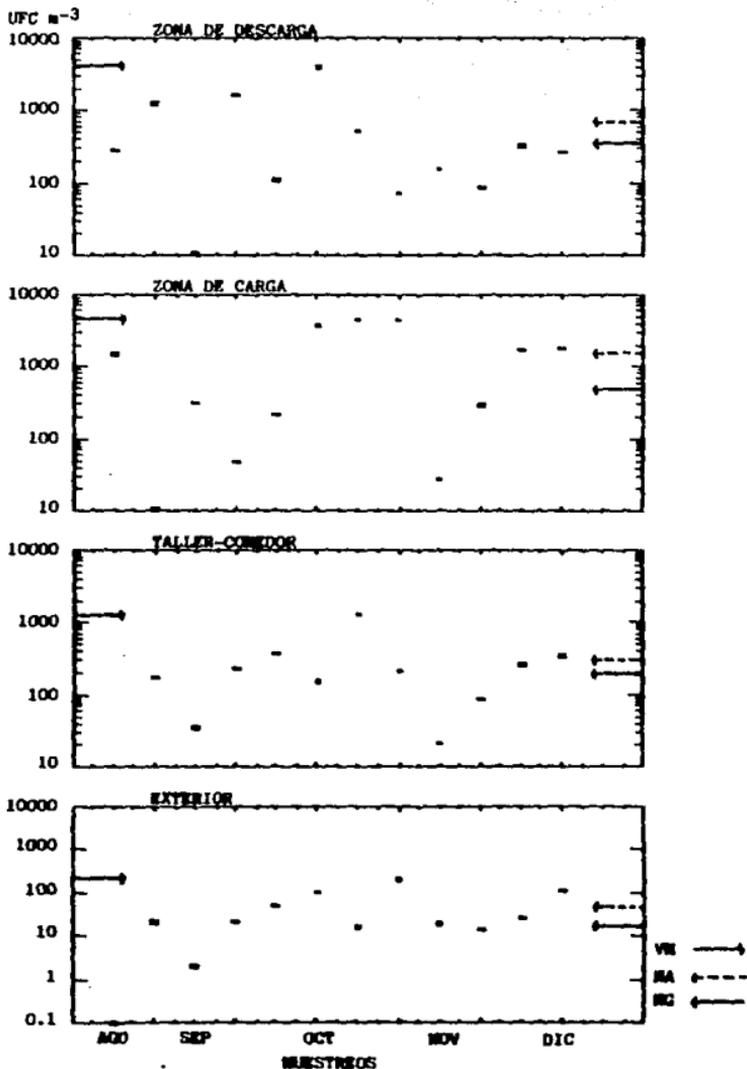


Figura 8. Concentración de bacterias Gram negativas aisladas en las zonas muestreadas de la estación de transferencia. - Valor máximo (VM), Media geométrica (MG), Media aritmética (MA).

Tabla VIII. Porcentaje de las muestras con bacterias Gram negativas en cada zona de muestreo.

Zona de muestreo	% de la muestra con		% de BGN de BT	% de CT de BGN
	BGN	>1000 BGN		
Descarga de desechos	96	25	14	28
Carga de desechos	92	50	21	18
Taller-Comedor	96	9	3	16
Exterior (a favor del viento)	75	0	3	29

BT= Bacterias totales (35°C); BGN= Bacterias Gram negativas; CT= Coliformes totales

## BACTERIAS GRAM NEGATIVAS

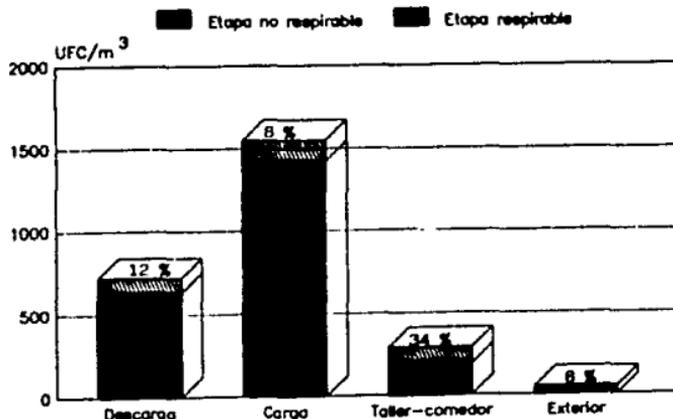


Figura 9. Concentración promedio ( $\text{UFC m}^{-3}$ ) de bacterias Gram negativas aisladas en las etapas no respirable y respirable, así como el porcentaje de la fracción respirable.

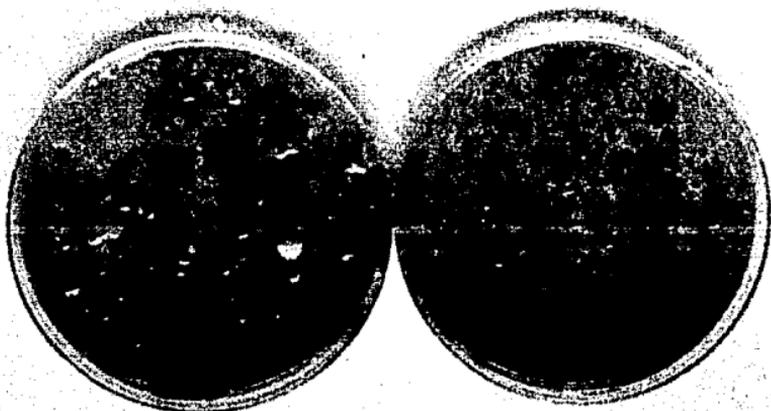
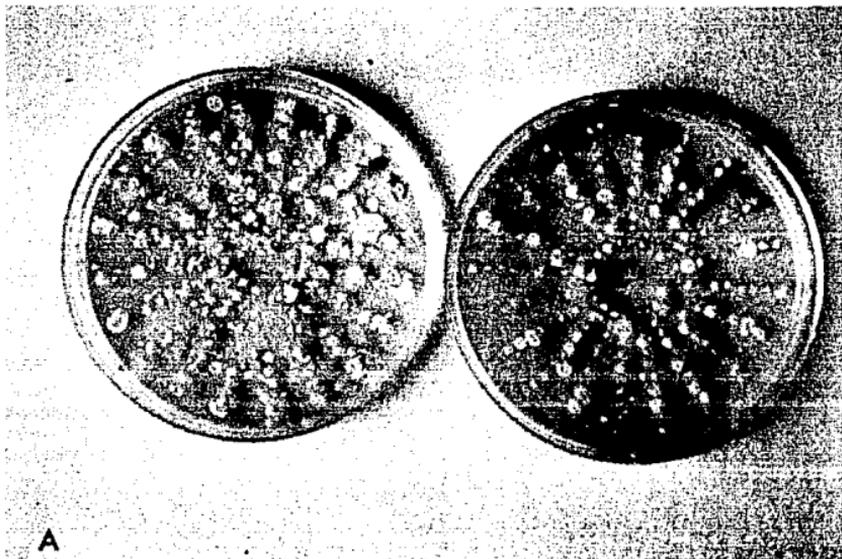


Figura 10. Cajas de Petri con desarrollo de aerobacterias totales (A) y de bacterias Gram negativas (B). De izquierda a derecha, fracciones no respirable y respirable.

Los parámetros meteorológicos registrados durante los muestreos en las cuatro zonas de estudio, así como las concentraciones de bacterias totales y de BGN se presentan en las figuras 11 a 14.

En la zona de descarga (Fig. 11) las temperaturas registradas oscilaron entre 14-24°C, con una presión de vapor de 11-17 mb y los vientos fueron generalmente débiles (entre 1 y 2 m/s). Las concentraciones de aerobacterias presentaron una ligera correlación con la presión de vapor.

Las temperaturas registradas en la zona de carga (Fig. 12) fluctuaron entre 15 a 25°C, con una presión de vapor entre 10-18 mb; se registraron vientos entre 2.5 a 4 m/s con un gran número de calmas. No se observó una clara correlación entre los parámetros meteorológicos y las aerobacterias aisladas.

En el interior del taller-comedor (Fig. 13) sólo se registró la temperatura ambiente y la presión de vapor, cuyos valores oscilaron entre 18-23°C y 11-17 mb respectivamente, observándose una ligera correlación entre estos parámetros y las concentraciones de aerobacterias.

Las temperaturas registradas en el exterior de la estación de transferencia fluctuaron entre 15-26°C, con una presión de vapor de 9-18 mb y vientos entre 2-4 m/s, con un alto número de calmas, presentándose una ligera correlación entre las aerobacterias y el viento (Fig. 14).

Los coeficientes de correlación entre las BGN y los parámetros meteorológicos, respecto a la concentración de bacterias totales (35°C) se muestran en la tabla IX.

El análisis de regresión lineal mostró una correlación positiva entre la concentración de aerobacterias totales (35°C) y el número de bacterias Gram negativas en las cuatro zonas muestreadas ( $p < 0.05$ ), siendo particularmente alta en el área de carga de basura y en el exterior de la estación de transferencia ( $r = 0.53$  y  $0.74$  respectivamente).

En relación a los parámetros meteorológicos, los coeficientes de correlación entre la temperatura ambiente y la presión de vapor, con respecto al contenido de bacterias en el aire, fueron negativos en las cuatro zonas muestreadas, con excepción del taller-comedor que presentó un coeficiente de correlación positivo con la presión de vapor ( $r = 0.06$ ), pero no fue estadísticamente significativo. La correlación más alta con la presión de vapor se obtuvo en la zona de descarga ( $r = -0.58$ ). Entre la velocidad del viento y las concentraciones de aerobacterias totales, los coeficientes de correlación presentaron valores bajos, obteniéndose el valor positivo más alto en el exterior de la estación de transferencia ( $r = 0.24$ ).

## ZONA DE DESCARGA

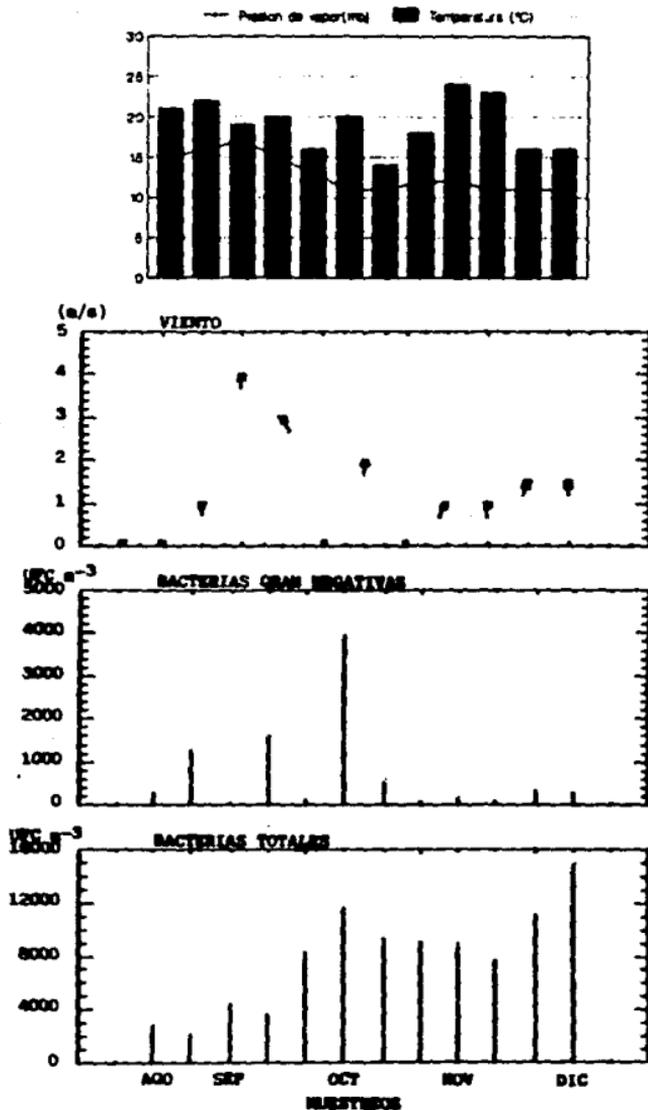


Figura 11. Relación entre los parámetros meteorológicos y las concentraciones de aerobacterias en la zona de descarga de la obra.

## ZONA DE CARGA

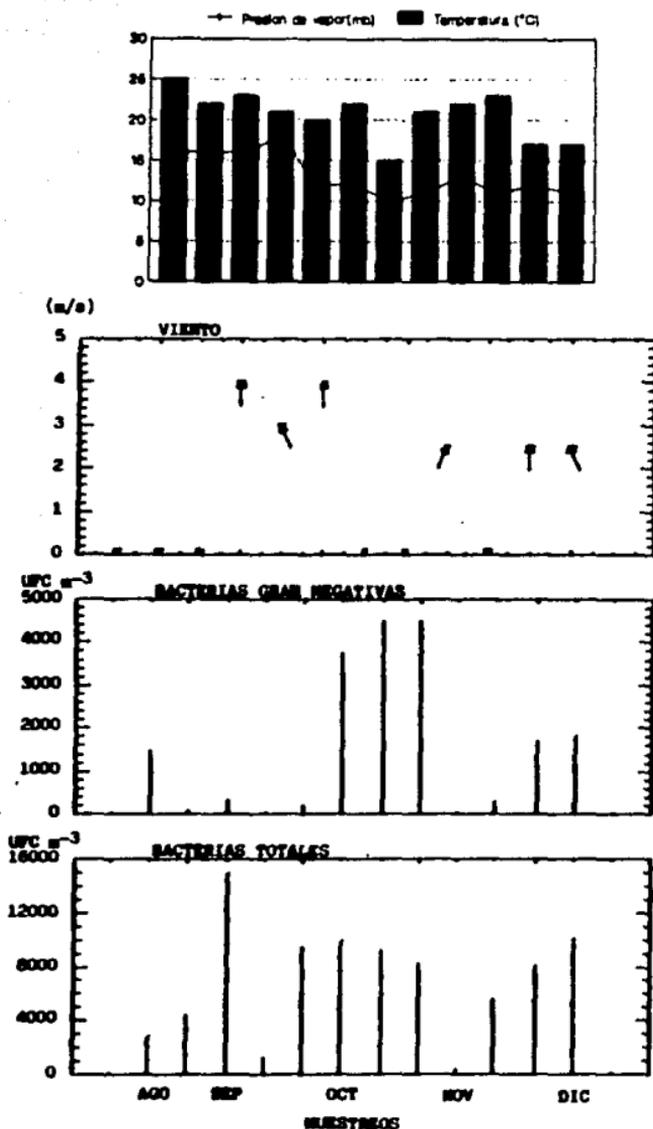


Figura 12. Relación entre los parámetros meteorológicos y las concentraciones de aerobacterias en la zona de carga de basura.

## TALLER-COMEDOR

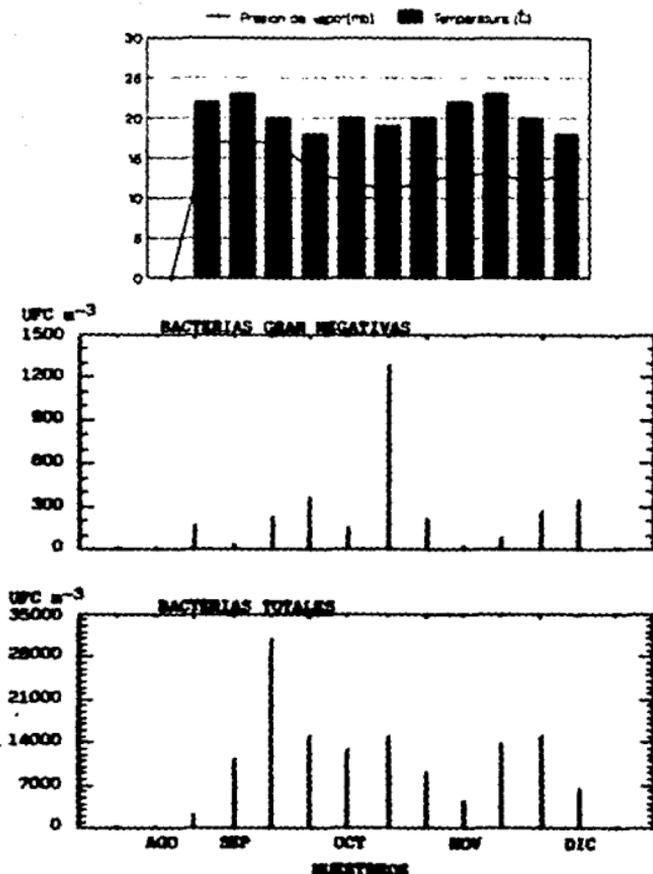


Figure 13. Relación entre los parámetros meteorológicos y las concentraciones de aerobacterias en el taller-comedor de la estación de transferencia.



Tabla IX. Coeficiente de correlación de Pearson entre las bacterias Gram negativas y los parámetros meteorológicos, respecto a la concentración de aerobacterias totales.

Variable dependiente: bacterias totales				
Variable independiente	Zona de muestreo			
	Descarga	Carga	Taller-Comedor	Exterior
Bacterias Gram negativas	0.22	0.53*	0.27	0.74*
Temperatura (°C)	-0.31	-0.22	-0.17	-0.24
Presión de vapor (mb)	-0.56*	-0.28	0.06	-0.23
Viento (m/s)	0.001	-0.09	-	0.24

a : Significativo a  $p < 0.05$

Durante el período de muestreo se colectaron 15 géneros de BGN determinándose 10 especies, cuya ubicación taxonómica se presenta en la tabla X y sus características generales, así como su hábitat e importancia en la tabla XI.

En la tabla XII se muestra la frecuencia de aislamiento de las bacterias Gram negativas en las diferentes zonas de muestreo. Las áreas de descarga y carga de desechos presentaron la mayor frecuencia de aparición de BGN. Dentro de las especies con mayor porcentaje de aparición se encuentran *Acinetobacter* spp. (41.7-75%), *Escherichia coli* (27.3-75%) y *Enterobacter cloacae* (25-66.7%). Algunas especies de importancia médica para el hombre como *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella* spp. y *Yersinia* spp., tuvieron porcentajes de aparición relativamente altos en las zonas de carga y descarga.

Los géneros más abundantes fueron *Enterobacter*, con el 21% del total de BGN aisladas; *Acinetobacter*, con el 16.1%; *Serratia* y *Citrobacter*, con el 11% y 9.4% respectivamente, y *Escherichia coli* presentó una abundancia del 12.3% del total (Fig. 15).

Tabla X . Ubicación taxonómica de las aerobacterias Gram negativas aisladas en la estación de transferencia.

Sección	Cocos y bacilos Gram negativos aerobios
Familia	Pseudomonadaceae
Género	<i>Pseudomonas</i>
Familia	Neisseriaceae
Género	<i>Acinetobacter</i>
Otros Géneros	(No incluidos en ninguna familia de esta sección) <i>Flavobacterium</i> <i>Alcaligenes</i>
Sección	Bacilos Gram negativos anaerobios facultativos
Familia	Enterobacteriaceae
Género	<i>Escherichia</i> <i>Salmonella</i> <i>Citrobacter</i> <i>Klebsiella</i> <i>Enterobacter</i> <i>Serratia</i> <i>Hafnia</i> <i>Proteus</i> <i>Yersinia</i>
Familia	Vibrionaceae
Género	<i>Vibrio</i>
Familia	Pasteurellaceae
Género	<i>Actinobacillus</i>

Murray et al., 1984.

Tabla XI. Características generales de las bacterias Gram negativas .

Sección	Cocos y bacilos Gram negativos aerobios.
Familia	Pseudomonadaceae
Género	<i>Pseudomonas</i> Migula 1894. Bacilos rectos o ligeramente curvos, de 0.5-1.0 $\mu\text{m}$ de diámetro por 1.5-5.0 $\mu\text{m}$ de largo. No se conocen estados de resistencia. No capsulados. Gram negativos. Generalmente móviles. Aerobios. Oxidasa negativa, catalasa positiva. Químioorganotróficos. No fermentan hidratos de carbono. Muchas de las especies producen pigmentos, algunos de los cuales fluorescen a la luz ultravioleta. La mayoría son de vida libre y crecen abundantemente en el suelo y agua. Importancia: Muchas de las especies son patógenos de plantas, otras contaminan alimentos y están relacionadas con su putrefacción. Se encuentran en ambientes hospitalarios, siendo patógenos oportunistas de personas inmunodeprimidas.
Familia	Neisseriaceae
Género	<i>Acinetobacter</i> Brisou y Prévot 1954. Bacilos de 0.8-1.6 $\mu\text{m}$ de diámetro y 1.5-2.5 $\mu\text{m}$ de longitud, presentando forma cocoide en la fase estacionaria de crecimiento. Generalmente se presentan en pares y en cadenas de tamaño diverso. No esporulados. Gram negativos. Desplazamiento por contracciones. Aerobios. Temperatura óptima de 33-35°C. Oxidasa negativa. Catalasa positiva. Colonias mucoides y convexas. Se encuentran en el suelo y aguas residuales. Importancia: Pueden causar infecciones nosocomiales, como meningitis e infecciones sépticas. Se pueden encontrar como contaminantes en los cultivos de vegetales.
Otros Géneros	(No incluidos en familias) <i>Flavobacterium</i> Bergey, Harrison, Breeded, Hammer y Huntoon, 1923. Bacilos con extremos redondeados, de 0.5 $\mu\text{m}$ de ancho y 1.0-3.0 $\mu\text{m}$ de longitud. No forman esporas. Gram negativos. No móviles. Aerobios. Colonias típicamente pigmentadas (amarillas o anaranjadas) pero existen cepas no pigmentadas. Colonias translúcidas, ocasionalmente opacas, convexas, lisas y brillantes. Catalasa, oxidasa y fosfatasa positivas. Químioorganotróficos. Producen ácido a partir de carbohidratos, pero no gas. Ampliamente distribuidos en el suelo y agua; se han encontrado en

Tabla XI. (Continuación)

carne cruda, leche y otros alimentos, así como en ambientes hospitalarios y en material clínico.

Importancia: patógenos oportunistas del hombre; algunas especies causan meningitis neonatal, bacteremia, neumonía y colonización del tracto respiratorio superior.

*Alcaligenes Castellani y Chalmers 1919.*

Bacilos o cocobacilos. 0.5-1.0  $\mu\text{m}$  de diámetro y 0.5-2.6  $\mu\text{m}$  de largo, generalmente se presentan solos. Gram negativos. Motilidad con 1-8 flagelos. Aerobios obligados. Algunas cepas presentan la capacidad de anaerobiosis en presencia de nitrato o nitrato. Temperatura óptima de 20-37°C. Colonias no pigmentadas. No fermentan lactosa; oxidasa y catalasa positivas. Quimioorganotróficos. Producción de álcali de varias sales orgánicas y amidas. Se encuentran en agua y suelo. Algunas especies son saprófitas del intestino de vertebrados, nemátodos e insectos.

Importancia: Ocasionalmente producen infecciones oportunistas en el hombre. Han sido aisladas de material clínico como sangre, orina, heces, fluido espinal y heridas.

*Alcaligenes faecalis Castellani y Chalmers 1919.*

La morfología específica es la descrita para el género. Colonias de no pigmentadas a blanco-grisáceas, translúcidas u opacas, planas o convexas, márgenes usualmente enteros. Aisladas de suelo, agua, heces, orina, sangre, esputos, pleura, nemátodos e insectos.

Importancia: Debido a su resistencia ha sido hallado en líquidos de administración intravenosa, produciendo infecciones del tracto urinario y septicemia postoperatoria.

Sección  
Familia  
Género

Bacilos Gram negativos anaerobios facultativos.

Enterobacteriaceae

*Escherichia Castellani y Chalmers 1919.*

Bacilos rectos, 1.1-1.5 x 2.0-6.0  $\mu\text{m}$ , se presentan en forma individual o en pares. Se pueden presentar cápsulas o microcápsulas. Anaerobios facultativos.

*Escherichia coli Castellani y Chalmers 1919.*

Temperatura óptima de crecimiento 37°C. Colonias lisas o rugosas; se pueden presentar formas mucosas y babosas. Quimioorganotróficos. Oxidasa negativa.

Tabla XI. (Continuación)

No usan citrato como única fuente de carbono. La glucosa y otros carbohidratos son fermentados con la producción de piruvato, el cual es convertido en ácido láctico, acético y fórmico. Lactosa fermentada por la mayoría de las cepas, pero la fermentación puede ser lenta o ausente. Forman parte de la flora normal del intestino de animales homeotermos.

Importancia: Se ha considerado como un patógeno oportunista del hombre, pero se ha demostrado que también juega un papel importante en enfermedades intestinales y extraintestinales, como meningitis neonatal, infecciones del tracto urinario, septicemia y diarrea.

*Salmonella* Lignieres 1900.

Bacilos rectos, 0.7-1.7 x 2.0-5.0  $\mu$ m. Gram negativos. Usualmente móviles. Anaerobios facultativos. Colonias de 2-4 mm de diámetro. Generalmente se produce gas a partir de la glucosa. Citrato usado como única fuente de carbono. Ureasa negativa. Generalmente no fermentan lactosa.

Importancia: patógenos de humanos, causan fiebre entérica, gastroenteritis y septicemia; pueden afectar también muchas especies animales. La salmonelosis es transmitida al hombre a través de la contaminación fecal de agua y de comida.

*Citrobacter* Werkman y Gillen 1932.

Bacilos rectos,  $\approx$ 0.1  $\mu$ m de diámetro y 2.0-6.0  $\mu$ m de largo. Se presentan solos o en pares. Usualmente no encapsulados. Gram negativos. Generalmente móviles. Anaerobios facultativos. Colonias de 2-4 mm de diámetro, lisas, convexas, húmedas, translúcidas u opacas. Ocasionalmente se pueden presentar formas opacas o rugosas. Oxidasa negativa; catalasa positiva. Quimioorganotróficos. El citrato puede ser usado como única fuente de carbono. Fermentan la glucosa con producción de ácido y gas. Se encuentran en heces de animales u hombres, así como en el suelo, agua, aguas residuales y comida.

Importancia: Frecuentemente aislados como patógenos oportunistas; se han encontrado en orina y esputos. Causan bacteremia, meningitis y otitis media.

*Citrobacter freundii* Werkman y Gillen 1932.

La morfología está dada por el género. Usualmente móviles, no encapsulados, sin embargo se pueden

Tabla XI. (Continuación)

presentar cepas encapsuladas pertenecientes a ciertos grupos O-específicos. Se encuentran en el hombre y animales, incluyendo mamíferos, aves, reptiles y anfibios. También se encuentran en el suelo, agua, aguas residuales y comida.

Importancia: han sido aislados de orina, esputos, sangre, como un patógeno oportunista o secundario. Se han relacionado con infecciones pulmonares, heridas, osteomielitis, peritonitis y endocarditis.

*Klebsiella* Trevisan 1865.

Bacilos rectos, 0.3-1.0  $\mu\text{m}$  de diámetro y 0.6-6.0  $\mu\text{m}$  de longitud; se encuentran sólo, en pares o en cadenas cortas. Capsulados. Gram negativos. No móviles. Anaerobios facultativos. Oxidasa negativos. La mayoría de las cepas pueden usar el citrato y la glucosa como única fuente de carbono. La glucosa es fermentada con la producción de ácido y gas. Algunas cepas fijan nitrógeno. La fermentación de inositol y la hidrólisis de urea son características distintivas. Se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, así como en heces fecales y en ambientes hospitalarios.

Son patógenos del hombre, pudiendo causar bacteremia, neumonía, infecciones del tracto urinario así como infecciones crónicas del tracto respiratorio superior.

*Klebsiella pneumoniae* Trevisan 1867.

Las características son las descritas para el género. Se encuentran en el intestino de animales y del hombre. Las cápsulas del tipo 1, 2 y 3 pueden ser el agente causal de la neumonía.

*Enterobacter* Hormaeche y Edwards 1960.

Bacilos rectos, 0.6-1.0  $\mu\text{m}$  de ancho x 1.2-3.0  $\mu\text{m}$  de largo. Gram negativos, móviles. Anaerobios facultativos. Fermentan glucosa con la producción de ácido y gas. Citrato y malonato generalmente usados como fuente de carbono. Temperatura óptima de crecimiento 30°C. Ampliamente distribuidas en la naturaleza; comunes en animales y en el hombre.

*Enterobacter aerogenes* Hormaeche y Edwards 1960.

La descripción general concuerda con el género. Presente en agua, suelo, aguas residuales, productos lácteos y heces fecales.

Importancia: no es conocido como un patógeno entérico; es un patógeno oportunista aislado del

Tabla XI. (Continuación)

trácto respiratorios y del genitourinario; se ha encontrado en pus y ocasionalmente en sangre y fluido espinal.

*Enterobacter agglomerans* Ewing y Fife 1972.  
Microorganismos saprófitos aislados de plantas, semillas, vegetales, agua, suelo y embutidos. Algunas cepas son de origen humano y animal.

Importancia: probablemente no es fitopatógeno. Es un patógeno oportunista en pacientes inmunodeprimidos, como neonatos, infantes prematuros, pacientes con leucemia o aquellos que se encuentran bajo terapias inmunodepresoras. Pueden causar bacteremia y septicemia.

*Enterobacter cloacae* Hormaeche y Edwards 1960.  
Es la especie más frecuentemente aislada de la familia Enterobacteriaceae. Se encuentra en agua, suelo, aguas residuales, carne, ambientes hospitalarios y como comensal en el intestino del hombre y animales.

Importancia: patógeno oportunista, aislado de orina, esputos, pus, sangre, fluido espinal y tracto respiratorio. Tiene una creciente importancia en hospitales, especialmente en unidades de cuidado intensivo, de emergencia y en urología.

*Serratia Bizio* 1823.

Bacilos rectos, 0.5-0.8  $\mu\text{m}$  de diámetro y 0.9-2.0  $\mu\text{m}$  de largo, con bordes redondeados. Generalmente móviles. Anaerobios facultativos. La mayoría de las colonias son opacas, algunas veces iridiscentes y otras en color blanco, rosa o rojo. La mayoría de las cepas pueden crecer a temperaturas de 10-36°C. Catalasa positiva. Se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza (agua, suelo, superficie de plantas) o como un patógeno oportunista.

*Serratia liquefaciens* Braiscomb, Lapage, Willcox y Curtis 1971.

Es la especie de este género más abundante en el ambiente natural. La morfología de las células está dada por el género.

Importancia: Ocasionalmente se presenta como un patógeno oportunista.

*Hafnia Moller* 1954.

Bacilos rectos,  $\approx$ 1.0  $\mu\text{m}$  de diámetro y 2.0-5.0  $\mu\text{m}$  de largo. No encapsulados. Gram negativos. Se pre-

Tabla XI. (Continuación)

sentan cepas móviles y no móviles. Anaerobios facultativos. Colonias de 2-4 mm de diámetro. lisas, húmedas, translúcidas, y grises, con una superficie brillante y bordes enteros. Oxidasa negativa, catalasa positiva. Quimioorganotróficos. La mayoría de las cepas utilizan citrato como fuente de energía después de 3-4 días de incubación. Glucosa fermentada con la producción de ácido y gas. Se presenta en heces del hombre y animales; se ha encontrado en suelo, aguas residuales y productos lácteos.

Importancia: la mayoría son patógenos oportunistas en pacientes inmunodeprimidos.

*Proteus* Hauser 1885.

Bacilos rectos, 0.4-0.8  $\mu\text{m}$  de diámetro x 1.0-3.0  $\mu\text{m}$  de largo. Gram negativos, móviles. La mayoría de las cepas presentan movimientos migratorios cíclicos produciendo zonas concéntricas, o dispersados en filamentos uniformes sobre superficies húmedas de agar. La urea es hidrolizada. Se produce sulfuro de hidrógeno. Se encuentra en el intestino del hombre y de una gran variedad de animales; presente en estiércol, suelo y agua contaminada.

*Proteus vulgaris* Hausen 1885.

Las características morfológicas corresponden a las descritas para el género.

Importancia: patógeno oportunista, encontrado en infecciones de las vías urinarias.

*Yersinia* Van Loghem 1944.

Bacilos rectos o cocobacilos, 0.5-0.8 x 1.3  $\mu\text{m}$ . No esporulados. Cápsulas no presentes. Gram negativos. Generalmente no móviles. Colonias translúcidas u opacas. Temperatura óptima de 28-29°C. Anaerobios facultativos. Oxidasa negativa, catalasa positiva. Glucosa fermentada con la producción de ácido y poco gas o sin gas. Se encuentra en un amplio espectro de hábitats (vivos e inanimados), incluyendo comida, hombres y animales enfermos.

Importancia: algunas especies pueden causar gastroenteritis aguda, fiebre, dolor abdominal, diarrea, náuseas y dolor de cabeza.

Familia  
Género

Vibrionaceae Veron 1965.

*Vibrio* Pacini 1854.

Bacilos rectos o curvos, 0.5-0.8  $\mu\text{m}$  de ancho por 1.4-2.8  $\mu\text{m}$  de largo. No forman endosporas. Gram negativos. Móviles. Anaerobios facultativos. Quimio-

Tabla XI. (Continuación)

organotróficos. La fermentación de la glucosa produce ácido, pero generalmente no gas. Oxidasa positiva. La mayoría crece a 30°C. Son comunes en agua salada y dulce, así como en el intestino del hombre y los animales.

Importancia: algunas especies son patógenas para el hombre, generalmente causan diarreas que pueden ser desde leves a graves.

Familia  
Género

Pasteurellaceae POHL 1981.

*Actinobacillus* Brumpt 1910.

Células esféricas, ovales o cocobacilos, 0.4-0.1 por 1.0-0.4  $\mu\text{m}$ . Ocasionalmente se presentan formas largas de 6 $\mu\text{m}$ , especialmente en medios de glucosa o maltosa. Las células se presentan solas, en pares o en cadenas. No forman endosporas. Gram negativas. No móviles. Algunas especies producen cápsulas. Anaerobios facultativos. Temperatura óptima de crecimiento 37°C. Quimioorganotróficos. La fermentación de la glucosa produce ácido, pero no gas. Colonias pegajosas.

Importancia: la mayoría se encuentran como comensales en animales domésticos. Ocasionalmente se asocian con enfermedades en el hombre, como patógenos oportunistas.

Referencias: Davis *et al*, 1978; Murray, *et al*., 1984; Freeman, 1969.

Tabla XII. Frecuencia de aparición (%) de las bacterias gram negativas aisladas en las diferentes zonas de la estación de transferencia.

Especies	Descarga	Carga	Taller	Exterior
<i>Acinetobacter</i> spp	75.0*	66.7	72.7	41.7
<i>Actinobacillus</i> spp	25.0*	25.0*	0.0	25.0*
<i>Alcaligenes faecalis</i>	50.0	58.3*	9.1	25.0
<i>Citrobacter freundii</i>	41.7*	25.0	9.1	25.0
<i>C. intermedius</i>	75.0*	25.0	9.1	8.3
<i>Enterobacter</i> spp	58.3*	41.7	18.2	41.7
<i>E. aerogenes</i>	8.3	16.7*	0.0	8.3
<i>E. agglomerans</i>	25.0	33.3*	27.3	8.3
<i>E. cloacae</i>	66.7*	66.7*	27.3	25.0
<i>Escherichia coli</i>	75.0*	75.0*	27.3	41.7
<i>Flavobacterium</i> spp	33.3	41.7*	18.2	8.3
<i>Hafnia</i> spp	50.0*	50.0*	36.4	33.3
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	33.3	50.0*	0.0	16.7
<i>Proteus vulgaris</i>	8.3	16.7*	0.0	0.0
<i>Pseudomonas</i> spp	33.3*	25.0	9.1	8.3
<i>Salmonella</i> spp	8.3	33.3*	0.0	0.0
<i>Serratia</i> spp	58.3*	50.0	9.1	33.3
<i>S. liquefaciens</i>	41.7*	33.3	9.1	16.7
<i>Vibrio</i> spp	8.3*	8.3*	0.0	0.0
<i>Yersinia</i> spp	41.7*	33.3	0.0	0.0

\* Frecuencia de mayor aislamiento entre las zonas muestreadas.

# BACTERIAS GRAM NEGATIVAS

## Abundancia relativa

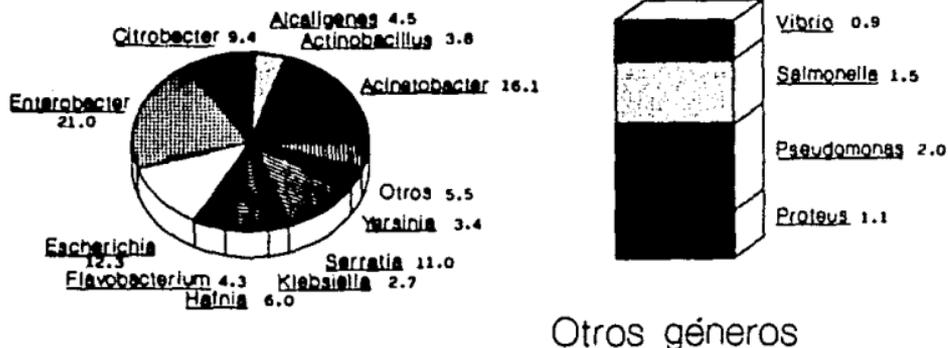


Figura 15. Abundancia relativa (%) de los géneros de bacterias Gram negativas aisladas en las cuatro zonas muestreadas de la estación de transferencia.

## DISCUSIÓN

Los estudios realizados previamente en relación al manejo de los desechos sólidos, han revelado que durante esta actividad se desprenden altas concentraciones de polvo de materiales orgánicos e inorgánicos, los cuales frecuentemente contienen aerobacterias potencialmente patógenas (Crook et al., 1987; Crook y Lacey, 1988). De aquí la importancia de evaluar el riesgo ocupacional al que se encuentran expuestos los trabajadores por la inhalación de estas aeropartículas, así como para los habitantes cercanos a estos centros de manejo de basura.

En el presente trabajo los resultados obtenidos mostraron una gran dispersión en las concentraciones de aerobacterias, dificultándose el manejo estadístico de los datos. En general se obtuvieron concentraciones desde  $10^2$  a  $10^4$  unidades formadoras de colonias (UFC)  $m^{-3}$  en las diferentes zonas muestreadas. Esta variabilidad en las concentraciones de aerobacterias aisladas coincide con lo citado por Lembke y Kniseley (1985), quienes obtuvieron concentraciones desde 0.19 a  $3700 \times 10^3$  UFC  $m^{-3}$  en la atmósfera de una planta recicladora de desechos sólidos municipales. Estos autores señalan que la variación en las concentraciones de aerobacterias aisladas puede deberse a numerosos factores, como son la composición y estado de los desechos, así como las técnicas de muestreo.

Las técnicas empleadas en este estudio frecuentemente generaron información cuantitativa subvalorada, debido a la saturación en la capacidad de impactación de los muestreadores, de tal forma que no puede mencionarse tendencia de comportamiento de los resultados. Es importante señalar que actualmente no existe un método general de muestreo aceptado para la colecta de aeropartículas viables en un ambiente ocupacional (Duckett et al., 1980), siendo particularmente importante cuando las áreas a muestrear presentan altas concentraciones de aeropartículas, tanto viables como no viables.

De las cuatro zonas muestreadas el taller-comedor (intramuros) registró las concentraciones más altas de aerobacterias con la mayoría de los datos entre  $8-14 \times 10^3$  UFC  $m^{-3}$ , obteniéndose un valor máximo de 30817 UFC  $m^{-3}$ . El elevado número de aerobacterias colectadas en intramuros se debe básicamente a la mala ubicación del taller-comedor y a la falta de corrientes de aire que dispersen las partículas suspendidas en esta atmósfera, mismas que se infiltran durante el manejo de la basura por las malas condiciones de las ventilas que se encuentran hacia la zona de carga de desechos. Debido a que las bacterias en ambientes cerrados no se dispersan tan rápido como en extramuros, ciertas infecciones bacterianas producidas por inhalación (como

la tuberculosis, el ántrax, la pneumonia y las infecciones estreptococales y estafilococales) son más frecuentes en intramuros (Gregory, 1973; Kelsen y McGuckin, 1980)). Por esta razón es importante resaltar el riesgo potencial al que están expuestos los trabajadores en este lugar, existiendo inclusive la posibilidad de ingerir alimentos contaminados con bacterias debido a la presencia de un comedor dentro de las instalaciones del taller.

En las zonas de descarga y carga de desechos las concentraciones de aerobacterias fueron igualmente altas, presentando la mayoría de los datos entre  $4 \cdot 10 \times 10^3$  UFC  $m^{-3}$ . Esto se debe básicamente a que la transferencia de los desechos se realiza al aire libre, produciéndose grandes nubes de polvo (conteniendo microorganismos) que quedan suspendidas en la atmósfera.

El área muestreada a favor del viento en el exterior de la estación de transferencia registró las concentraciones más bajas de aerobacterias durante el periodo de estudio. El objetivo de muestrear en esta zona fue tratar de establecer la influencia que ejerce la estación de transferencia a las zonas cercanas a la misma debido a la generación de aerobacterias; sin embargo, al no tener un sitio de muestreo para registrar el nivel de fondo (en contra del viento), no fue posible afirmar que el número de UFC  $m^{-3}$  colectadas en este lugar provinieran del manejo de los desechos en la estación de transferencia. No obstante, al comparar el número de aerobacterias aisladas en esta área (de 271-4215 UFC  $m^{-3}$ ) con las concentraciones obtenidas en diversos estudios realizados en zonas urbanas y suburbanas (Bovallius et al., 1978; Jones y Cookson, 1983; Rosas et al., 1988), cuyos valores fluctuaron entre 0-2500 UFC  $m^{-3}$ , es posible observar que estos últimos son menores a la mayoría de los datos registrados en el exterior de la estación de transferencia.

La mayor parte de las aerobacterias aisladas en este estudio se colectaron en la fracción no respirable del muestreador Andersen (partículas cuyo diámetro aerodinámico es  $> 5 \mu m$ ) y en general no se observó una relación entre las concentraciones de las aerobacterias totales ( $35^\circ C$ ) y el porcentaje de las bacterias asociadas a la fracción respirable ( $< 5 \mu m$ ). Duckett y colaboradores (1980) señalan que la mayoría de las partículas generadas durante el manejo de los desechos sólidos son fibrosas y las partículas granulares pequeñas tienden a unirse para formar fibras, lo cual justifica la dominancia de las partículas de tamaño no respirable, así como de las aerobacterias asociadas a esta fracción.

Si bien la mayoría de las aerobacterias se colectaron en la etapa no respirable del muestreador, el porcentaje de las concentraciones de aerobacterias totales aisladas en la fracción respirable es considerable (con valores del 19% al 48%).

exponiendo a los trabajadores a un gran número de bacterias capaces de distribuirse a nivel torácico. Las partículas finas (<10µm) al ser inhaladas pueden llegar a la región alveolar, tomándole al organismo de semanas a años el remover estas partículas, pudiendo así ocasionar enfermedades crónicas del pulmón, inflamación, fibrosis y otras afecciones pulmonares (Hileman, 1981).

De manera general se puede decir que las concentraciones de aerobacterias registradas en las zonas de carga y descarga, así como en el taller-comedor, presentaron valores de magnitud similar por la relación que tienen con la transferencia de desechos; esto fue confirmado con la prueba estadística no paramétrica de Mann Whitney, la cual puso de manifiesto que la zona ubicada en el exterior de la estación de transferencia (a favor del viento) fue la única que presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el orden de las concentraciones aisladas, con respecto a las otras zonas de estudio. Las bacterias generadas durante las actividades de carga y descarga de desechos son dispersadas por el aire, de manera que su concentración disminuye al alejarse de la fuente. Debido a esto es necesario evaluar la concentración de aerobacterias en un gradiente horizontal y vertical (principalmente a favor del viento) a fin de determinar hasta dónde llega la influencia de la estación de transferencia al ambiente.

Por otra parte, según el modelo de Boutin *et al.* (1987), quienes propusieron diferentes niveles de partículas viables para la protección de ambientes ocupacionales, tanto las áreas de descarga y carga de desechos, así como el taller-comedor, caen dentro de la clasificación de ambientes fuertemente contaminados, mientras que el exterior de la estación de transferencia (a 60 m. de distancia de las tolvas) queda clasificado como ambiente contaminado, existiendo una posible influencia en las concentraciones de aerobacterias aisladas en esta última zona debido a las actividades de la estación de transferencia.

Es importante señalar que las concentraciones de aerobacterias totales (35°C) registradas en este estudio, superaron en un gran número de muestras a los datos citados en algunos trabajos realizados en plantas de tratamiento de aguas residuales (Randall y Ledbetter, 1966; Raygor y MacKay, 1975; Fedorak y Westlake, 1980; Scheff *et al.*, 1981), en donde las concentraciones de aerobacterias fluctuaron entre 18 a 2600 UFC  $m^{-3}$ , por lo que se puede considerar a esta estación de transferencia como una fuente potencial de contaminación biológica.

En relación a las bacterias Gram negativas (BGN) colectadas en este estudio, la zona de carga presentó la mayor concentración de las mismas, tanto en la fracción respirable como en la no respirable. En esta área, al igual que en la zona de descarga de

basura y en el taller-comedor, frecuentemente se obtuvieron concentraciones mayores de 1000 UFC m<sup>-3</sup>, lo cual resulta de sumo interés, ya que a pesar de que no existe un número establecido de aerobacterias aceptado para ambientes ocupacionales, se ha sugerido una concentración menor de 1000 BGN por m<sup>3</sup> de aire muestreado (Rylander et al., 1983; citado por Crook et al., 1987). Por arriba de esta concentración se pueden presentar problemas causados por la inhalación de endotoxinas.

El análisis de regresión lineal mostró correlación positiva entre las bacterias totales y el número de bacterias Gram negativas aisladas en las cuatro zonas de estudio, de tal forma que al aumentar la concentración de bacterias totales existe el riesgo de que las BGN se incrementen también.

Debe puntualizarse que tanto el número de bacterias totales (incubadas a 35°C) como el de BGN registradas en esta estación de transferencia, son inferiores a las obtenidas en otras investigaciones realizadas en diferentes sitios de manejo de desechos sólidos. Lembke y Kniseley (1985) reportan niveles de aerobacterias totales (incubadas a 30°C) de 0.19 a más de 3700x10<sup>3</sup> UFC m<sup>-3</sup> de aire; Crook et al. (1986a) obtuvieron concentraciones promedio de aerobacterias totales (incubadas a 37°C) de 31650 a 40382 UFC m<sup>-3</sup>, con un valor máximo de 148936 UFC m<sup>-3</sup>. Asimismo, se han aislado hasta 208000 UFC m<sup>-3</sup> de BGN en ambientes cerrados y una concentración promedio de 29000 UFC m<sup>-3</sup> en extramuros (Crook et al., 1987).

Esta diferencia en la magnitud de aerobacterias aisladas durante el desarrollo de este trabajo y las concentraciones citadas por otros autores se debe en gran parte al tipo de muestreadores empleados, así como a la duración del muestreo (en este estudio el tiempo mínimo de muestreo con el impactador Andersen fue de 2.0 min., mientras que en los trabajos anteriormente mencionados fue de 2-20 seg.).

Previos estudios han demostrado la mayor eficiencia de los muestreadores en líquidos para este tipo de ambientes, con respecto al impactador de cascada Andersen, principalmente durante el aislamiento de BGN (Lembke et al., 1981; Crook et al., 1988 a). Se ha propuesto que el número de aerobacterias aisladas en los muestreadores en líquidos es significativamente mayor debido a que un agregado de aerobacterias que en el muestreador Andersen puede originar una colonia, en el medio líquido se disgrega y desarrolla varias colonias al ser dispersadas en la superficie del agar (Crook y Lacey, 1988); por otra parte se ha sugerido que las BGN están sujetas a condiciones adversas al ser impactadas en la superficie sólida del agar, produciéndose estrés por deshidratación de las células y disminuyendo consecuentemente su sobrevivencia (Cox, 1987). Asimismo, la suspensión de las bacterias en el medio líquido facilita la recuperación del daño celular antes de ser dispersadas sobre el agar (Webb, 1960).

Durante el desarrollo de este trabajo se registraron también las concentraciones de bacterias coliformes, ya que frecuentemente se han usado como indicadores de contaminación fecal (Fannin et al., 1976) y su presencia señala que otras bacterias patógenas pueden estar presentes en el ambiente, habiéndose reportado concentraciones promedio de  $2.1 \times 10^3$  UFC  $m^{-3}$  en una planta recicladora de desechos sólidos municipales (Lembke y Kniseley, 1980).

Duckett et al. (1980) señala que suponiendo que todas las coliformes fecales pueden ser *Escherichia coli* y que un trabajador respira un promedio de 1.5 l/min., puede estar expuesto continuamente a este nivel por varias horas, llegando a respirar un máximo de 3200 microorganismos (*E. coli*) por día, constituyendo un riesgo potencial hacia la salud de los trabajadores.

En el presente estudio se aislados bacterias coliformes en las cuatro zonas muestreadas, obteniéndose las concentraciones máximas en las zonas de carga y descarga de desechos, con un promedio de 119 y 226 UFC  $m^{-3}$  respectivamente, lo cual representa un riesgo para los trabajadores que laboran de 8-10 horas diarias en esta estación de transferencia.

Los parámetros meteorológicos registrados durante los muestreos no presentaron una correlación consistente con el contenido de bacterias en el aire. Lembke y Kniseley (1985) obtuvieron resultados similares entre las concentraciones de microorganismos aisladas en una planta recicladora de desechos sólidos municipales y las condiciones de temperatura y humedad relativa. En otras investigaciones realizadas en extramuros tampoco se ha observado una fuerte correlación entre estos parámetros y los datos de microorganismos (Wright et al., 1969; Bovallius et al., 1978; Mancinelli y Shulls, 1978; Jones y Cookson, 1983). Por esta razón es importante señalar que, a pesar de que en diversas ocasiones se ha encontrado que los niveles de microorganismos en el aire están sujetos a diversos factores ambientales, como son la radiación solar (Fedorak y Westlake, 1978; Fujioka y Narikawa, 1982), la humedad relativa (McDade y Hall, 1964; Benbough, 1967) y la temperatura, entre otros, estos estudios se han realizado en condiciones controladas de laboratorio, lo cual difiere considerablemente de las condiciones naturales de la atmósfera, en donde se presenta una compleja interacción entre las variables físicas, químicas y biológicas del sistema, dificultándose su estudio.

Por otra parte, debe considerarse que durante el horario de muestreo (entre 10:00-13:00 hr.) el calentamiento del suelo pudo dar origen a movimientos convectivos del aire, haciendo que se encontrara en condiciones de inestabilidad, disminuyendo el número de aerobacterias en las capas cercanas a la superficie del suelo (Rosas et al., 1988). Asimismo, la viabilidad de las

aerobacterias en fase vegetativa está sujeta a la deshidratación causada por la evaporación del agua, tanto de las partículas portadoras, como de la célula. El grado de evaporación depende de la humedad ambiental y de la temperatura, siendo mayor durante las horas de máximo calentamiento (Edmonds, 1979; Cox, 1987; Marthi y Lighthart, 1990), por lo que en el presente trabajo el horario de muestreo (debido a las condiciones meteorológicas prevalentes) pudo influir en la disminución de las aerobacterias registradas.

Es difícil determinar la influencia de los parámetros meteorológicos sobre la concentración de aerobacterias en esta estación de transferencia, debido a la continua descarga de basura con la subsecuente formación de nubes de polvo asociado con microorganismos. De igual forma el número y tipo de microorganismos generados dependerá en gran parte de la composición y estado de los desechos (Lembke y Kniseley, 1985).

Debido a lo anterior se puede considerar que las altas concentraciones de aerobacterias colectadas durante el manejo de la basura depende en gran parte de las condiciones físico-químicas de los desechos, las cuales propician el ambiente adecuado para el desarrollo de gran cantidad de microorganismos, mientras que los parámetros meteorológicos afectan la viabilidad de las bacterias en el aire.

En relación a los resultados cualitativos, entre las especies de bacterias Gram negativas más abundantes y aisladas con mayor frecuencia durante el desarrollo de este trabajo se encuentran *Acinetobacter* spp., *Escherichia coli* y *Enterobacter cloacae*, además de los géneros de *Enterobacter*, *Serratia* y *Citrobacter*. Estos géneros de bacterias Gram negativas han sido registrados en otros estudios relacionados con el manejo de los desechos sólidos (Clarck et al., 1983; Lembke y Kniseley, 1985; Crook et al., 1987), por lo que es posible adivinar que estos géneros de bacterias son característicos de este tipo de ambientes.

*Acinetobacter* spp. y *Serratia* spp. se encuentran distribuidas en una gran variedad de ambientes, incluyendo aguas residuales; *Enterobacter cloacae* y *Citrobacter* se han aislado frecuentemente de heces fecales, así como de aguas negras; *Escherichia coli* es un habitante del intestino del hombre y de otros animales homeotermos, y su presencia es indicadora de contaminación fecal (Davis et al., 1978; Murray et al., 1984), siendo ésta una evidencia de la presencia de material fecal entre los desechos domésticos, principalmente por la inclusión del pañal desechable (Peterson, 1974).

La mayoría de las especies determinadas son patógenos oportunistas del hombre, aisladas frecuentemente en infecciones nosocomiales. Con menor frecuencia se aislaron algunas especies

consideradas patógenas al hombre, entre las que se encuentran *Klebsiella pneumoniae*, que es un patógeno potencial del tracto respiratorio, y *Salmonella* spp. que puede causar fiebre entérica, gastroenteritis aguda y septicemia (Davis et al., 1978; Jawetz et al., 1987). La frecuencia de aparición de estos microorganismos es variable de un lugar a otro ya que depende del aspecto epidemiológico que prevalezca.

Por otra parte ha quedado establecido que la inhalación de bacterias Gram negativas produce inflamación del tracto respiratorio debido a la presencia de diversas endotoxinas, lipopolisacáridos asociados a proteínas de la pared celular de las bacterias Gram negativas (Burrell y Rylander, 1982; Baseier et al., 1983; Freeman, 1989).

Rylander et al. (1983) sugiere que la máxima concentración admisible de aerobacterias para un ambiente ocupacional puede ser de  $10^3$  BGN por  $m^3$  o 0.1  $\mu g$  de endotoxinas por  $m^3$ . Por encima de esta concentración se pueden presentar síntomas de influenza como escalofríos y fiebre, generalmente después de 4-6 horas de exposición. En esta estación de transferencia de basura frecuentemente se obtuvieron concentraciones mayores a 1000 bacterias Gram negativas por  $m^3$  de aire, representando un riesgo para la salud de los trabajadores.

La comparación de los resultados obtenidos en este estudio con los citados en otros trabajos es difícil de realizar, debido principalmente a las diferencias en las localidades y métodos de muestreo, así como a las técnicas de procesamiento microbiológico de las muestras. Igualmente, la composición de los desechos varía durante las épocas del año y entre las regiones geográficas (Dorfmann y Batsch, 1985), difiriendo el número y tipo de microorganismos generados.

A pesar de esto, los resultados obtenidos demuestran que existe un riesgo potencial hacia la salud de los trabajadores de esta estación de transferencia, por lo que es necesario profundizar en el conocimiento de las aeropartículas viables presentes en este ambiente laboral, así como establecer un programa para el seguimiento del estado de salud de los trabajadores relacionados con el manejo de los desechos.

## CONCLUSIONES

La saturación de la capacidad de impactación de los muestreadores demuestra que la metodología empleada subvaloró la concentración de aerobacterias en la estación de transferencia de basura.

Ha quedado establecido que los altos niveles de bacterias son característicos de lugares donde se manejan desechos domésticos, debido principalmente a la composición y estado de los mismos.

Las zonas de carga y descarga de desechos, así como el taller-comedor, se encontraron altamente contaminados, representando un riesgo potencial para la salud de los trabajadores.

Un alto porcentaje de las aerobacterias se registraron en la fracción respirable (partículas con un diámetro aerodinámico  $<5 \mu\text{m}$ ), pudiendo distribuirse a nivel torácico y producir diversas afecciones en el tracto respiratorio.

Considerando los niveles de partículas viables establecidos en plantas de tratamiento de aguas residuales para proteger a los trabajadores (Boutin, et al., 1987), en esta estación de transferencia existe riesgo para la salud por el manejo que se les da a los desechos domésticos, incluyendo no sólo la posibilidad de contraer enfermedades bacterianas respiratorias e intestinales, sino también una respuesta a las endotoxinas de las bacterias Gram negativas.

El aislamiento de bacterias coliformes y la alta frecuencia de aparición de *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Citrobacter* señalan la presencia de material fecal, incluyendo material infectado.

El efecto de los parámetros meteorológicos en la concentración de aerobacterias no fue evidente, por lo que posiblemente se requiera de un período más amplio de estudio.

## RECOMENDACIONES

Para el muestreo aerobiológico en este tipo de ambientes se recomienda el uso de un impactador de cascada Andersen de seis etapas y la inclusión de un muestreador en líquidos de tres etapas.

Es necesario aplicar pruebas bioquímicas más específicas con el fin de llegar a nivel de especie en la mayoría de los géneros determinados.

Se requiere implementar medidas de seguridad para los trabajadores con el fin de reducir el riesgo que se presenta durante el manejo de los desechos sólidos; esto incluye el mejoramiento de las instalaciones y de las técnicas de transferencia de basura, de manera que disminuya la exposición de los trabajadores a los desechos y a las partículas que se desprenden durante su manejo. Igualmente, es aconsejable reubicar el comedor a una zona alejada de las áreas de carga y descarga de basura.

Es preciso determinar la influencia que ejerce la estación de transferencia al ambiente y a los habitantes cercanos a la misma, realizando muestreos tanto en favor como en contra del viento, en los planos vertical y horizontal.

La presencia de una cortina arbórea alrededor de la estación de transferencia podría disminuir la dispersión de las aerobacterias al exterior.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, A.P., Garbett, M. y Rees, H.B. 1978. Bacterial Aerosols from Cooling Towers. Journal Water Pollution Control Federation. 2362-2369.
- Andersen Sampler, Inc. 1984. Operating Manual for Andersen Sampler. Atlanta. 24 pp.
- Baseler, M.W., Fogelmark, B. y Burrell, R. 1983. Differential Toxicity of Inhaled Gram Negative Bacteria. Infection and Immunity. 40(1):133-138.
- Benbough, J.K. 1969. Factors Affectin the Toxicity of Oxygen Towards Airborne Coliforms Bacteria. Journal of General Microbiology. 56:241-250.
- Benbough, J. 1967. Death Mechanisms in Airborne Escherichia coli. Journal of General Microbiology. 47:325-333.
- Bovallius, A., Bucht, B., Koffey, R. y Arias, P. 1978. Tree Years Investigation of the Natural Airborne Bacterial Flora at Four Localities in Sweden. Applied and Environmental Microbiology. 35(5): 847-852.
- Boutin, P., Torre, M., Moline, J. y Boissinot, E. 1987. Bacterial Atmospheric Contamination in Wastewater Treatment Plants. En: Advances in Aerobiology. Birkhauser Verlag Basel:365-370.
- Brenner, K.P., Scarpino, P.V. y Clark, S. 1988. Animal Viruses, Coliphages and Bacteria in Aerosols and Wastewater at a Spray Irrigation Site. Applied and Environmental Microbiology. 54(2):409-415.
- Burrell, R. y Rylander, R. 1982. Further Studies on Inhaled Endotoxin Containing Bacteria. Environmental Research. 27:325-336.
- Campbell, R. 1987. Ecología Microbiana. Ed. Limusa. México. 268 pp.
- Clark, S.C., Rylander, R. y Larsson, L. 1983. Levels of Gram-Negative Bacteria, Aspergillus fumigatus, Dust and Endotoxin at Compost Plants. Applied and Environmental Microbiology. 45(5): 1501-1505.
- Cox, C.S. 1987. The Aerobiological Pathway of Microorganisms. John Wiley & Sons. Gran Bretaña. 293 pp.

- Crook, B., Higgins, S. y Lacey, J. 1987. Airborne Gram Negative Bacteria Associated with the Handling of Domestic Waste. En: Advances in Aerobiology. G. Boehm and R.M. Leuschner, eds. Birkhauser Verlag, Basel:371-375.
- Crook, B. Higgins, S. y Lacey, J. 1988 a. Methods for Sampling Airborne Microorganisms at Solid Waste Disposal Sites. En: Biodegradation 7. D. Houghton, R.N. Smith y H.O.W. Egging, eds. London: 791-797.
- Crook, B., Boards, R.P. y Lacey, J. 1988 b. Domestic Waste Composting Plants as Sources of Airborne Microorganisms. En: Aerosols, Their Generation, Behaviour and Applications. Proceedings 2a Conference Aerosols Society: 63-67.
- Crook, B. y Lacey, J. 1988. Enumeration of Airborne Microorganisms in Work Environments. Environmental Technology Letters. 9: 515-520.
- D'Acoust, J., Giroux, J., Barran, L., Schneider, H. y Martin, G. 1974. Some Effects of Visible Light on Kacherichia coli. Journal of Bacteriology. 120(2): 799-804.
- Davis, B., Dulbecco, R., Eisen, H., Ginsberg, H., Wood, W. y McCarty, M. 1978. Tratado de Microbiología. 2a ed. Salvat. España. 1559 pp.
- Dimmick, R.L., Wolochow, H. y Chatigny, M.A. 1979 a. Evidence that Bacteria Can Form New Cells in Airborne Particles. Applied and Environmental Microbiology. 37(5): 924-927.
- Dimmick, R.L., Wolochow, H. y Chatigny, M.A. 1979 b. Evidence for More Than One Division of Bacteria Within Airborne Particles. Applied and Environmental Microbiology. 38(4): 642-643.
- Dorfmann, R. y Batsch, G. 1985. Les Residus Urbains. 2a ed. Technique et Documentation-Lavoisier. Francia. 437 pp.
- Druett, H. y Packmann, L. 1968. Sensitive Microbiological Detector for Air Pollution. Nature. 218(18): 699.
- Duckett, E.J., Wagner, J. Welker, R., Rogers, B. y Usdin, V. 1980. Physical, Chemical and Microbiological Analyses of Dusts at a Resource Recovery Plant. American Industrial Hygiene Association. 41(12): 908-914.
- Edmonds, R.L. 1979. Aerobiology: The Ecological Systems Approach. Dowden, Hotchinson and Ross, Inc. Pensilvania. 386 pp.

- Ehrlich, R., Miller, S. y Walker, R.L. 1970. Relationship Between Atmospheric Temperature and Survival of Airborne Bacteria. Applied Microbiology. 19(2): 245-249.
- Khrlich, R. y Miller, S. 1973. Survival of Airborne Pasteurella mularensis at Different Atmospheric Temperatures. Applied Microbiology. 25(3): 369-372.
- Fannin, K.F., Gannon, S.J., Cochran, K.W. y Spendlove, J.C. 1976. Field Studies on Coliphages and Coliforms as Indicators of Airborne Animal Viral Contamination from Wastewater Treatment Facilities. Water Research. 11:181-188.
- Fedorak, P.M. y Westlake, D.W.S. 1978. Effect of Sunlight on Bacterial Survival in Transparent Air Samplers. Canadian Journal of Microbiology. 24: 618-619.
- Fedorak, P.M. y Westlake, D.W.S. 1980. Airborne Bacterial Densities at an Activated Sludge Treatment Plant. Journal Water Pollution Control Federation. 52(8): 2185-2192.
- Forster, H.W., Crook, B., Platts, B.W., Lacey, J. y Topping, M.D. 1989. Investigation of Organic Aerosols Generated During Sugar Beet Slicing. American Industrial Hygiene Association. 50(1):44-50.
- Freeman, B. 1989. Microbiología de Burrows. 22a ed. Interamericana. McGraw-Hill. México. 1181 pp.
- Fujioka, R.S. y Narikawa, O.T. 1982. Effect of Sunlight on Enumeration of Indicator Bacteria Under Field Conditions. Applied and Environmental Microbiology. 44(2): 395-401.
- Fulton, J.D. 1966. Microorganisms of the Upper Atmosphere. Applied Microbiology. 14(2): 245-250.
- Gregory, P.H. 1973. The Microbiology of the Atmosphere. Leonard Hill Ltd. Londres, 377 pp.
- Groschel, H.M. 1980. Air Sampling in Hospitals. En: Annals of the New York Academy of Science. B. Kundsins Ed. 352: 230-240.
- Hatch, M.T. y Dimmick, R.L. 1966. Physiological Responses of Airborne Bacteria to Shifts in Relative Humidity. Bacteriological Reviews. 30(3): 597-603.
- Hickey, J.L. y Reist, P.C. 1975. Health Significance of Airborne Microorganisms from Wastewater Treatment Processes. Part II: Health significance and Alternatives for Action. Journal Water Pollution Control Federation. 47(12): 2758-2773.

- Hileman, B. 1981. Particulate Mater: The inhalable Variety. American Chemical Society. 15(9): 983-986.
- Imshenetzky, A., Lysenke, S.V. y Kazakov, G.A. 1978. Upper Boundary of the Biosphere. Applied and Environmental Microbiology. 35: 1-5.
- Jáuregui, E. 1975. El Clima Urbano de la Ciudad de México. Boletín del Instituto de Geografía. (6):47-58.
- Jawetz, E., Melnick, J. y Adelberg, E. 1987. Microbiología Médica. 12a ed. El Manual Moderno, México. 636 pp.
- Jones, D. 1988. Composition and Properties of the Family Enterobacteriaceae. En: Enterobacteriaceae in the Environment and as Pathogens. Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement. 65(17): 1S-19S.
- Jones B.L. y Cookson, J.T. 1983. Natural Atmospheric Microbial Conditions in a Typical Suburban Area. Applied and Environmental Microbiology. 45(3): 918-934.
- Kelsen S. y McGuckin, M. 1980. The Role of Airborne Bacteria in the Contamination of fine particle nebulizers and the Development of Nosocomial Pneumonia. En: Annals of the New York Academy of Sciences (Airborne Contagion). B. Kundsín, Ed. 353:218-229.
- Koeppen, W. 1948. Climatología. Fondo de Cultura Económica, México. 225 pp.
- Koneman, E., Allen, S., Dowell, V. y Sommers, H. 1989. Diagnóstico Microbiológico. Editorial Médica Panamericana. México. 533 pp.
- Lacey, J. 1969. The Detection of Airborne Allergens. Final Report to the Health and Safet y Executive. Crop Protection Division, Institute of Arable Crops Research, Rothamsted Experimental Station. 29 pp.
- Lacey, J. y Lacey, M.E. 1987. Micro-organisms in the Air of Cotton Mills. Annals of Occupational Hygiene. 31(1): 1-19.
- Lambert, D.A. 1988. Enterobacteriaceae. Composition Structure and Function of the Cell Envelope. En: Enterobacteriaceae in the Environment and as Pathogens. Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement. 65(17): 21 S-34 S.
- Lembke, L. y Kniseley, R. 1980. Coliforms in Aerosols Generated by a Municipal Solid Waste Recovery System. Applied and Environmental Microbiology. 40(5): 888-891.

- Lembke, L. y Kniseley, R. 1985. Airborne Microorganisms in a Municipal Solid Waste Recovery System. Canadian Journal of Microbiology. 31: 198-205.
- Lembke, L., Kniseley, R., Nostrand, C. y Hale, M. 1981. Precision of the All-glass Impinger and the Andersen Microbial Impactor for Air Sampling in Solid Waste Handling Facilities. Applied and Environmental Microbiology. 42(2): 222-225.
- Lighthart, B. 1971. The Survival of Airborne *Serratia marcescens* in Urban Concentration of Sulfur Dioxide. Journal of the Air Pollution Control Association. 21(10): 639-642.
- Lighthart, B. 1973. Survival of Airborne Bacteria in a High Urban Concentration of Carbon Monoxide. Applied Microbiology. 25:86-91.
- Lindemann, J., Constantinidow, H.E., Barchet, W.R. y Upper, C.D. 1982. Plants as Sources of Airborne Bacteria, Including Ice Nucleation-Active Bacteria. Applied and Environmental Microbiology. 44(5): 1059-1063.
- Lindemann, J. y Upper, C.D. 1985. Aerial Dispersal of Epiphytic Bacteria Over Bean Plants. Applied and Environmental Microbiology. 50(5): 1229-1232.
- Mac Faddin, J.E. 1984. Pruebas Bioquímicas para la Identificación de Bacterias de Importancia Clínica. Panamericana. México, 301 pp.
- Mancinelli, R.L. y Shulls, W.A. 1978. Airborne Bacteria in an Urban Environment. Applied and Environmental Microbiology. 35(6): 1095-1101.
- Marthi, B. y Lighthart, B. 1990. Effects of Betanine on Enumeration of Airborne Bacteria. Applied and Environmental Microbiology. 56(5):1286-1289.
- McDade, J. y Hall, L. 1964. Survival of Gram Negative Bacteria in the Environment. Annals Journal Hygiene. 80:192-204.
- Murray, R., Brenner, D., Bryant, M., Holt, J., Krieg, N., Moulder, J., Pfennig, N., Sneath, P. y Staley, J. 1984. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. 1. Williams & Wilkins. Londres, 964 pp.
- Niemela, S., Vaatanen, P., Mentu, J. Jokinen, A., Jappinen P. y Sillanpaa, P. 1985. Microbiol Incidence in the Upper Respiratory Tracts of Workers in the Paper Industry. Applied and Environmental Microbiology. 50(1): 163-168.

- O'Leary, W.M. 1989. Practical Handbook of Microbiology. CRS Press, Inc. USA, 681 pp.
- Pérez, J., Vázquez, R., Rodríguez, C., Miranda, R., Romo, A. y Nader, E. 1987. Procedimientos de Laboratorio para Bacteriología y Micología Veterinarias. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Bacteriología y Micología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 209 pp.
- Peterson, M. 1974. Soiled Disposable Diapers: A Potential Source of Virus. American Journal Public Health. 64: 912-914.
- Pohjola, A., Ratio-Lehtimäki, A. y Makinen, Y. 1977. Spore Composition in a Garbage Disposal Plant. Grana. 18: 167-169.
- Randall, C.W. y Ledbetter, J.O. 1966. Bacterial Air Pollution from Activated Sludge Units. American Industrial Hygiene Association Journal. Nov-Dic: 506-519.
- Raygor, S. y MacKay, K. 1975. Bacterial Air Pollution from an Activated Sludge Tank. Water, Air and Soil Pollution. 5:47-52.
- Rosas, I., Gutierrez, S., Yela, A., Selamun, M., Teran, L. y Mendoza, A. 1988 a. Respuesta de los Trabajadores a los Microorganismos Suspendidos en la Atmósfera de una Fábrica de Papel. Archivos de Investigación Médica. 19: 23-31.
- Rosas, I., Yela, A. y Mosiño, P. 1988 b. Airborne Bacterial Flora in a Suburban Area of Mexico City. Abstracts of the Annual Meeting of the American Society for Microbiology. Mayo:Q-46.
- Rosas, I. y Yela, A. 1989. Aerosol Containing Enteric Bacteria Generated by Wastewater Treatment Process. Abstracts of the Annual Meeting of the American Society for Microbiology. Mayo: Q-46.
- Rylander, R., Ludholm, M. y Clark, C.S. 1983. Exposure to Aerosols of Micro-organisms and Toxins During Handling of Sewage Sludge. En: Biological Health Risk of Sludge Disposal to Land in Cold Climates. P.M. Wallis y D.L. Lohmann Ed. Canada:69-78.
- Scheff, P.A., Holden, J.A. y Wadden, R.A. 1981. Characterization of Air Pollutants from an Activated Sludge Process. Journal Water Pollution Control Federation. 53(2):223-231.
- Scotland, S.M. 1988. Toxins. En: Enterobacteriaceae in the Environment and as Pathogens. Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement. 65(17): 109 S-129 S.

- Teltsch, B., Kedmi, S., Bonnet, L., Borenstajn-Rotem, Y. y Katzenelson, E. 1980. Isolation and Identification of Pathogenic Microorganisms at Wastewater-Irrigated Fields. Ration in Air and Wastewater. Applied and Environmental Microbiology. 39(6): 1183-1190.
- Waldner, S. y Botzenhart, K. 1987. Microorganisms as Biological Indicators of Air Pollution. En: Advances in Aerobiology. G. Boehm and R.M. Leuschner, eds. Birkhauser Verlag, Basel: 395-400.
- Webb, S.J. 1960. Canadian Journal of Microbiology. 6:71-87.
- Willeke, K. y Baron, P.A. 1987. The Size Distribution of Whirlpool-Generated Droplets, Their Ability to Contain Bacteria and their Deposition Potential in the Human Respiratory Tract. En: Advances in Aerobiology. Birkhauser Verlag Basel: 361-364.
- Wright, T.J., Greene, V.W. y Paulus, H.J. 1969. Viable Microorganisms in an Urban Atmosphere. Journal of the Air Pollution Control Association. 19(5): 337-341.