



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGIA

**AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE ACTINOMICETOS
PRESENTES EN EL AIRE DE LA CIUDAD DE PUEBLA,
MÉXICO Y MODELADO DEL TRANSPORTE AEROBIOLÓGICO**

Tesis presentada como requisito para obtener el título de Licenciatura en Químico
Farmacobiólogo

PRESENTA

Gustavo Juárez Castro

DIRECTOR DE TESIS

Dra. Ana Marta de los Ángeles Lobo Sánchez

ASESOR

Dr. Ramón Gudiño Fernández

Junio/2015

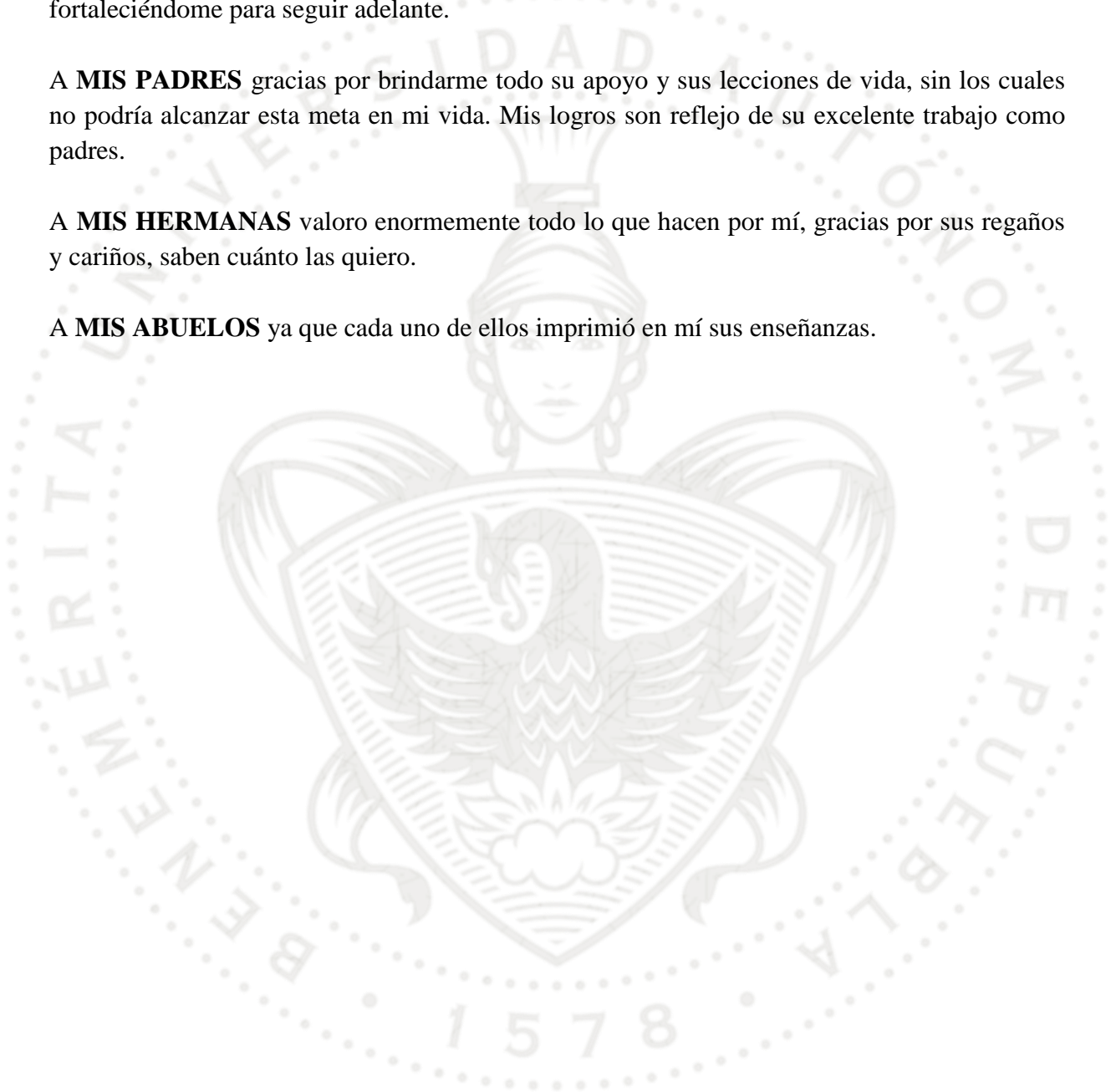
DEDICATORIA

A **DIOS** por ser el motor de mi vida, por brindarme todas las oportunidades y bendiciones para dar cada paso en mi existencia, porque jamás me ha abandonado y siempre se encuentra fortaleciéndome para seguir adelante.

A **MIS PADRES** gracias por brindarme todo su apoyo y sus lecciones de vida, sin los cuales no podría alcanzar esta meta en mi vida. Mis logros son reflejo de su excelente trabajo como padres.

A **MIS HERMANAS** valoro enormemente todo lo que hacen por mí, gracias por sus regaños y cariños, saben cuánto las quiero.

A **MIS ABUELOS** ya que cada uno de ellos imprimió en mí sus enseñanzas.



AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Ana Marta de los Ángeles Lobo Sánchez.

Por su confianza, paciencia y sobre todo por sus enseñanzas.

Al Dr. Ramón Gudiño Fernández.

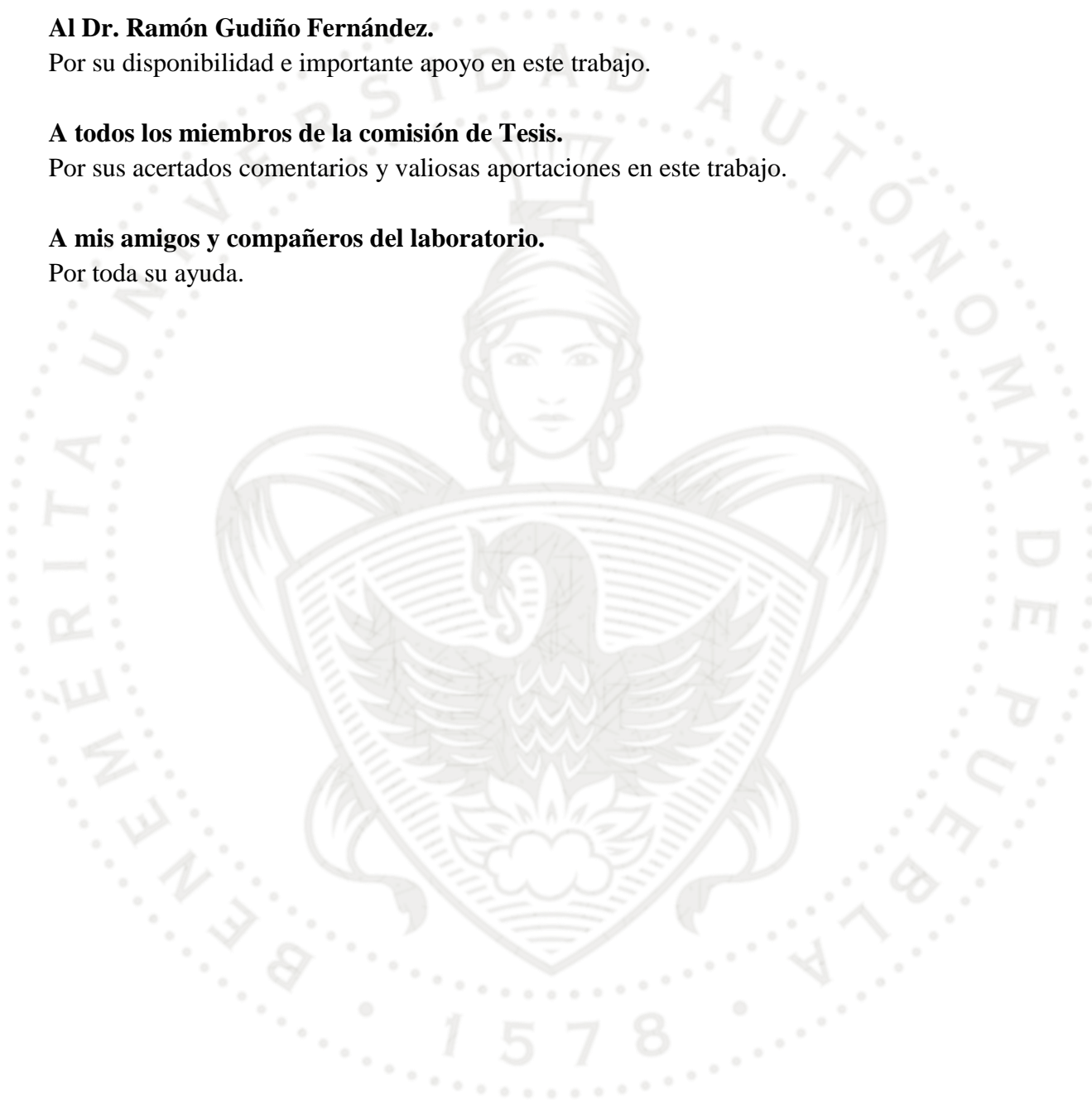
Por su disponibilidad e importante apoyo en este trabajo.

A todos los miembros de la comisión de Tesis.

Por sus acertados comentarios y valiosas aportaciones en este trabajo.

A mis amigos y compañeros del laboratorio.

Por toda su ayuda.



RESUMEN

Los Actinomicetos son bacterias oportunistas grampositivas productoras de esporas, por lo que la presencia de estos en el aire tiene distinto potencial para producir daño a la salud humana; ya que los factores que intervienen en la virulencia y patogenicidad de los Actinomicetos están relacionados con la concentración, la dispersión y la especie del Actinomiceto presente en la atmósfera, además de factores en la población como la edad, estado nutricional, presencia y severidad de las condiciones de salud, el uso de medicamentos, etc. El objetivo de este trabajo fue aislar e identificar fenotípicamente cepas de Actinomicetos a partir de muestras de aire obtenidas en seis diferentes zonas de la Ciudad de Puebla, durante el periodo de diciembre-2012 a diciembre 2013; además de la aplicación de un modelo matemático que permitiera describir el probable desplazamiento aerobiológico de Actinomicetos considerando los posibles factores físicos que interviene en el transporte y difusión de las mismas. Los aislados fueron identificados por sus características macroscópicas (tipos de colonias), microscópicas (tinción de Gram) y pruebas bioquímicas. Se seleccionaron 25 cepas de Actinomicetos y la identificación en género se realizó por medio de los microcultivos que permitieron observar sus estructuras miceliares y compararlas con las estructuras referenciadas para cada género de Actinomiceto en el Manual Taxonómico de Bergey. Se identificaron siete géneros probables de Actinomicetos; una cepa del género *Streptomyces*, *Nocardiopsis* y *Micronospora* respectivamente; 4 cepas del género *Nocardia*; 5 cepas del género *Nocardiodes*; 6 cepas del género *Saccharopolyspora* y 7 cepas del género *Actinosynnema*. Para el Modelamiento Matemático se utilizó una de las ecuaciones de difusión gaussiana, donde se considera que la fuente de emisión de los microorganismos (esporas de los Actinomicetos) es continua a nivel de suelo y en línea central de dispersión, lo que permitió observar que el caudal de emisión (Q) a una altura de 1.75 m se incrementa en la zonas cercanas a los parques, principalmente en las épocas del año donde se incrementa la velocidad del viento y la temperatura. De los resultados obtenidos en este estudio es importante destacar la presencia de los géneros *Saccharopolyspora*, *Streptomyces*, *Nocardiopsis* y *Nocardia* que cobran importancia biológica y económica por su capacidad de supervivencia y permanencia en el aire, ya que pueden diseminarse como contaminantes potenciales tanto en sitios cerrados como abiertos y causar enfermedades infecciosas en humanos y animales, además de contaminar alimentos y materiales orgánicos. En relación al desplazamiento aerobiológico es importante considerar las

concentraciones con que se presentan los Actinomicetos en las distintas épocas del año ya que repercute directamente en la salud humana.ⁱ

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DEGRÁFICOS	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1. ANTECEDENTES	2
2.1.1. La atmósfera	4
2.1.1.1. Tropósfera	5
2.1.1.2. Estratósfera	5
2.1.1.3. Mesósfera y Termósfera	6
2.1.2. Contaminación atmosférica	6
2.1.2.1. Clasificación de los contaminantes	6
2.1.2.2. Fuente de emisión de contaminantes	8
2.1.2.3. Factores físicos que intervienen en el transporte y Difusión de los contaminantes	9
2.1.3. Modelos de dispersión y transporte	10
2.1.3.1. Modelos matemáticos orientados a diferentes procesos atmosféricos	11
2.1.3.2. Modelos estadísticos	12
2.1.3.3. Modelo Gaussiano	13
2.1.4. Microorganismos en el aire	16
2.1.4.1. Dispersión de los microorganismos en la atmósfera	17
2.1.5. Actinomicetos	18
2.1.5.1. Importancia de los Actinomicetos aislados del aire y la salud humana	22
2.1.5.2. Clasificación de Actinomicetos	22
2.1.5.3. Características de las esporas de los Actinomicetos	25
3. MARCO DE REFERENCIA	27
4. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA	30
5. JUSTIFICACIÓN	32
6. OBJETIVOS	33
6.1. OBJETIVO GENERAL	33
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	34
7.1. TIPO DE ESTUDIO	34
7.2. UNIVERSO DE ESTUDIO	34
7.3. TAMAÑO DE LA MUESTRA	34
7.4. SEDE Y LUGAR DE ESTUDIO	34
7.5. CRITERIOS DE SELECCIÓN	34
8. MATERIAL Y MÉTODOS	35

8.1.	MATERIAL	35
8.2.	RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA	35
8.3.	IDENTIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO	35
8.3.1.	Identificación	35
8.3.1.1.	Macroscópica	35
8.3.1.2.	Microscópica	36
8.3.1.3.	Pruebas físicas	36
8.3.1.4.	Pruebas bioquímicas	36
8.3.2.	Almacenamiento	36
9.	ESQUEMA GENERAL DE TRABAJO	37
9.1.	ESQUEMA DE FENOTIPIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN	38
9.2.	ESQUEMA DE MICROCULTIVO	39
10.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
10.1.	IDENTIFICACIÓN FENOTÍPICA DE LOS ACTINOMICETOS AISLADOS DEL AIRE EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE PUEBLA.	42
10.2.	MICROCULTIVOS	47
10.3.	PRUEBAS BIOQUÍMICAS	53
10.4.	MODELAMIENTO MATEMÁTICO	55
11.	CONCLUSIONES	62
12.	RECOMENDACIONES	63
13.	BIBLIOGRAFIA	64
14.	ANEXO	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Mecanismos e hipótesis considerados en los modelos gaussianos.	13
2	Ecuaciones del modelo de difusión gaussiano.	15
3	Grupos fenotípicos de los Actinomicetos aerobios.	23
4	Actinomicetos, características y clasificación por grupos.	24
5	Tamaño físico de esporas de Actinomicetos medidas por microscopia y sistema de análisis de imagen.	25
6	Características microscópicas de las 25 cepas de Actinomicetos aislados del aire.	44
7	Características microscópicas de los Actinomicetos y sus géneros observados a partir de los microcultivos.	48
8	Resultados de pruebas bioquímicas practicadas a las cepas de Actinomicetos.	54
9	Fuentes naturales y antropogénicas que contribuyen a incrementar la concentración de bacterias en la atmósfera.	55
10	Clases de estabilidad propuestas por Pasquill-Gifford-Turner en relación con el gradiente térmico.	57
11	Determinación del caudal de emisión (Q) (UFC/s^{-1}).	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Estructura vertical de la atmósfera.	4
2	Coordenadas espaciales en el modelo gaussiano de Pasquill-Gifford.	14
3	Cultivos en placa de cepas de Actinomicetos aislados del aire de la zona urbana de la Ciudad de Puebla.	45
4	Tinción de Gram de cepas de Actinomicetos aislados del aire de la zona urbana de la Ciudad de Puebla.	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico		Página
1	Distribución de cepas de Actinomicetos obtenidas del aire en seis puntos de la Ciudad de Puebla.	41
2	Géneros de Actinomicetos aislados en seis puntos de la Ciudad de Puebla.	52
3	Cultivos en placa de cepas de Actinomicetos aislados del aire de la zona urbana de la Ciudad de Puebla.	59

1. INTRODUCCIÓN

La calidad del aire del medioambiente externo puede estar influenciada por la acción de distintas partículas suspendidas en la atmósfera entre las que se encuentran aquellas que tienen actividad microbiana como bacterias y hongos; la presencia de uno u otro tipo dependen del origen, de la dirección e intensidad de las corrientes de aire y de las condiciones microclimáticas como la temperatura y la humedad relativa, las cuales permiten que algunas de estas partículas aerobiológicas se adapten al medio ambiente estresante quedando suspendidas en el aire por largos períodos de tiempo. A lo largo de los años se ha hablado de como los microorganismos dispersados en el aire tienen una gran importancia biológica y económica ya que estos producen enfermedades en plantas, animales y humanos, causan alteraciones de alimentos y materiales orgánicos, además de contribuir al deterioro y corrosión de monumentos y metales. Sin embargo no todas las aportaciones de los microorganismos se enfocan en resultados adversos, tal es el caso de los Actinomicetos los cuales brindan características que repercuten de manera positiva en el medio ambiente por su prolífica producción de antibióticos, antifúngicos, metabolitos, enzimas extracelulares, inhibidores enzimáticos, neurotransmisores, terpenoides, pigmentos, anticancerígenos y pesticidas entre otros; además presentan una alta actividad metabólica, siendo capaces de degradar la materia orgánica vegetal y animal; producen sideróforos que participan en la asimilación del hierro para la fijación de nitrógeno, lo cual contribuye indirectamente al crecimiento vegetal. Los Actinomicetos producen diferentes tipos de metabolitos por lo cual surgen como una prometedora fuente de controladores biológicos y en la industria biotecnológica permitirían establecer un nuevo tipo de agricultura sostenible.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

A lo largo de la historia el estudio de los microorganismos del aire han proporcionado las bases para su desarrollo y aplicación en el área científica. Lucretius (55 a.C.) observó las partículas de polvo brillando en un rayo de sol en una habitación oscura (De la Rosa & Ullán, El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos, 2002). En el siglo XVII Micheli (1679-1737) observó y dibujó esporas de hongos las cuales sembró en trozos de melón, membrillo y pera, concluyendo que estas se transmitían a través del aire (Gregory, 1973). En 1837 los experimentos de Schwann implicaban a los microorganismos del aire como causantes del deterioro de medios después de esterilizarlos por calor, para 1861 el químico francés Luis Pasteur tanto por observación microscópica directa, como por métodos de cultivo, demostró la presencia de microorganismos en el aire y su papel desencadenante de la fermentación o deterioro en medios esterilizados previamente (Ariatti & Comtois, 1993). En 1877 el físico inglés John Tyndall, demostró que el aire ópticamente claro (libre de partículas) no producía deterioro de los medios estériles (De la Rosa & Ullán, 2002).

En 1930 surge la Aerobiología que se encarga del estudio del transporte, comportamiento, supervivencia e identificación de los múltiples microorganismos presentes en la atmósfera de la tierra, la cual se apoya de ciencias como la microbiología, física de aerosoles, meteorología y la química de la atmósfera entre otras (Rosas y col, 2004). La contaminación del aire ha sido también un campo de estudio, por su relación con el aumento de pacientes ambulatorios debido a enfermedades respiratorias y a la mortalidad diaria (OMS, 2006). La humanidad a lo largo de los años ha creído erróneamente, que los desechos creados a partir de sus múltiples actividades se terminarían por degradar o desaparecer de manera natural. Sin embargo el resultado es otro, ya que es posible percibir estos desechos en múltiples sitios. Como ejemplo más representativo se encuentran el problemas de contaminación atmosférica, situación que afecta no solo áreas locales si no que se presenta también como un problema global, el cual repercute tanto en una población como en los múltiples ecosistemas, teniendo como consecuencia la disminución de la calidad del aire, reducción de la capa de ozono estratosférico y el fenómeno de cambio climático, por

mencionar algunos. Como medidas de control de la contaminación atmosférica, se requiere de conocer las fuentes de emisión de contaminantes, así como la composición de estas emisiones a la atmósfera (SEMARNAT (b), 2012).

La contaminación del aire es un fenómeno que adquiere gran importancia en los últimos años ya que representa un problema sobre todo para los grandes asentamientos, de entre las ciudades de México que generan gran parte de la contaminación atmosférica se encuentra la ciudad de Puebla. Tanto la emisión como la dispersión de estos contaminantes se deben a las actividades humanas, la topografía y las condiciones climáticas de la ciudad (SEMARNAT (a), 2012).

En el aire se encuentra presente el material particulado (PM) o aerosol atmosférico y este se encuentra conformado por una fracción que se ha estudiado en menor proporción, llamada fracción biológica o bioaerosol, cuya fuente de origen es tanto antropológica como natural. Las actividades antropogénicas que se llevan a cabo en las zonas urbanas tales como las realizadas en plantas de tratamiento, plantas de compostaje, en la agricultura, el flujo vehicular, etc., tienen influencia en la composición del PM, y en conjunto con las cenizas volcánicas, el carbón, las gotas de pintura, etc., logran generar lapsos de contaminación que se presenta debido a las constantes emisiones de contaminantes y la baja capacidad de dispersión del aire (Sánchez-Monedero y col, 2006). Dentro de los intervalos de tamaños de los bioaerosoles, las esporas tanto de hongos como de algunas bacterias, registran diámetros entre 1 a 30 μm (Reponen et al., 2001). Los Actinomicetos liberan esporas redondas u ovaladas de 1.0 a 1.2 μm por 1.2 a 1.5 μm , debido a este intervalo de tamaños, las esporas de los Actinomicetos son un factor a tomar en cuenta desde el punto de vista sanitario, ya que pueden ser inhaladas y las de menor tamaño pueden depositarse a nivel alveolar causando en algunos casos infecciones y/o reacciones alérgicas (Reponen et al., 1998; Reponen et al., 2001; De la Rosa & Ullán, 2002,); dentro de su comportamiento pueden ser generadores de patología en humanos, plantas y animales, pero también de gran utilidad en la creación de nutrientes en el suelo.

2.1.1. La Atmósfera

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea toda la superficie de un planeta. La atmósfera terrestre tiene un espesor de unos 2000 km aproximadamente, aunque el 75 % de su masa se concentra en los primeros 11 km. Esta no es uniforme en todo su volumen, sino que se estructura en capas con distinta composición y propiedades físicas, influidas por los procesos biológicos y geoquímicos, las radiaciones procedentes del Sol o la atracción gravitatoria de la tierra. En función de la variación de la presión y la temperatura, conforme asciende desde el suelo, las capas se denominan tropósfera, estratósfera, mesósfera y termósfera (Figura 1) (Gallego y col., 2012).

La atmósfera carece de una microbiota autóctona, pero constituye un medio propicio para la dispersión rápida y global, siendo las esporas de hongos y bacterias un componente presente en casi todas las estaciones del año y sus concentraciones pueden variar ampliamente. La presencia, reproducción y dispersión de microorganismos en el aire, depende de factores meteorológicos como temperatura, humedad relativa, luz y velocidades del viento, de igual forma dependen de la cantidad nutrientes, principalmente agua y materia orgánica que puedan encontrar para el desarrollo de su metabolismo y supervivencia (Troutt & Levetin, 2001; Burch & Levetin, 2002; Oliveira *et al.*, 2005; Oliveira *et al.* (a), 2009; Oliveira *et al.* (b), 2009).

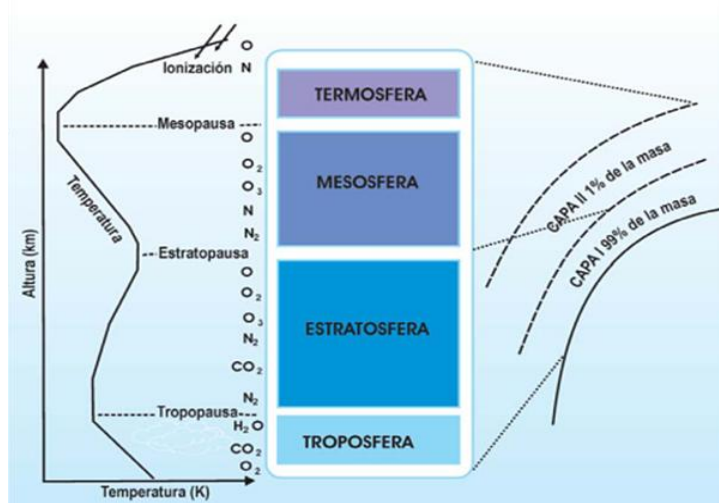


Figura 1. Estructura vertical de la atmósfera (Gallego y col., 2012).

2.1.1.1. Tropósfera

La tropósfera es la capa que se encuentra justo en contacto con la superficie de la tierra, donde todos los seres vivos desarrollan su ciclo vital. El espesor medio de esta capa es de 12 km de altitud, aunque esta cifra es variable según la latitud, siendo máxima en el ecuador y mínima en los polos. A pesar de ser la capa más delgada de todas las mencionadas, en ella se producen todos los fenómenos meteorológicos que definen el clima. En la tropósfera la temperatura desciende con la altitud y varía también horizontalmente de unas zonas a otras del planeta. Debido a estos gradientes de temperatura, tienen lugar movimientos horizontales y verticales de masas de aire, por lo que está sometida a perturbaciones y procesos turbulentos (los fenómenos meteorológicos) que mantienen el aire en constante agitación. Los movimientos de las masas de aire son capaces de transportar la contaminación hasta lugares muy lejanos de sus fuentes de emisión y provocan también su dilución. La composición química de la tropósfera es aproximadamente constante, está constituida por nitrógeno (N_2), 78%, oxígeno (O_2) 21% y argón (0.9%); el 0.1% restante lo constituyen el dióxido de carbono (CO_2), los óxidos de nitrógeno (NO), el monóxido de carbono (CO) y el ozono (O_3); además de vapor de agua (Gallego y col., 2012).

2.1.1.2. Estratósfera

La estratósfera es la capa de la atmósfera comprendida entre los 12 y 50 km de altura. Recibe ese nombre porque el aire se mueve en capas horizontales (o estratos) y el intercambio de gases entre capas es escaso. La temperatura aumenta con la altura hasta alcanzar los 0 °C debido a las reacciones fotoquímicas que ocurren en esta capa por lo que no se producen fenómenos meteorológicos en esta zona de la atmósfera. Entre los rasgos más importante de la composición química de esta capa están la práctica ausencia de vapor de agua y la presencia del 80% del ozono (O_3) de la atmósfera, fundamentalmente concentrado en una capa llamada capa de ozono alrededor de los 25 km de altura (Gallego y col., 2012).

2.1.1.3. Mesósfera y Termósfera

Estas son las capas más externas, en ellas la presión atmosférica es muy baja y es allí donde son absorbidos los rayos provenientes del Sol. La mesósfera se extiende hasta los 90 km y contiene el 0.1% de la masa de la atmósfera. En ella la temperatura vuelve a descender con la altura, hasta los 90 °C bajo cero. Por encima se sitúa la termósfera. En esta segunda capa el gradiente de temperatura es positivo, por lo que aumenta con la altura. Aquí se llegan a disociar las moléculas de oxígeno (O₂) y de nitrógeno (N₂) para transformarse en átomos libres y fotoionizan muchos elementos. Es por ello que la zona entre los 50 km y los 300 km de altitud también se denomina ionósfera, debido a la presencia de iones producidos por la interacción entre la radiación solar y los elementos presentes (Gallego y col., 2012).

2.1.2. Contaminación atmosférica

Existen diferentes acepciones del término "Contaminación Atmosférica" dependiendo de los diferentes ámbitos de estudio y atendiendo a las necesidades específicas de cada localidad, por ejemplo en México en el diario Oficial de la Federación se describe de la siguiente manera: "Situación en la cual se detecta la presencia en la atmósfera, de una sustancia extraña no deseable (gas, vapores, partículas sólidos, líquidos o radiaciones) en concentraciones, tiempo y circunstancias tales, que pueden provocar un perjuicio a la salud" (Diario Oficial de la Federación, 1988).

2.1.2.1. Clasificación de los contaminantes

Los contaminantes atmosféricos pueden clasificarse:

Según su origen

- a) Contaminantes naturales, como las emisiones volcánicas y marinas, incendios forestales, la actividad de seres vivos como bacterias desnitrificadoras o digestión de los herbívoros.
- b) Contaminantes antropogénicos, que son generados por las actividades humanas.

De acuerdo a la forma en que se emiten a la atmósfera

- a) Contaminantes primarios, son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera, son de muy diversa naturaleza química y provienen de una gran variedad de fuentes de emisión.
- b) Contaminantes secundarios, son resultado de transformaciones químicas de los contaminantes primarios después de ser emitidos mediante reacciones con otras sustancias gaseosas, con el agua de la atmósfera o con la radiación solar, estos se forman a partir de precursores.

Según su composición química

Compuestos de nitrógeno, de azufre, compuestos orgánicos, etc.

Según su estado físico

La atmósfera consiste en una mezcla de compuestos en distintos estados físicos, gaseosos en su mayoría, pero también sólidos (polvo en suspensión) y líquidos (gotas de agua que conforman las nubes, las nieblas o la lluvia y las sustancias disueltas en ella).

Aerosoles o material particulado (PM)

Se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera (Gallego y col., 2012).

Bioaerosoles

Son partículas de tamaño microscópico las cuales se encuentran circulando en el aire, estos son de origen biológico y pueden provocar afectaciones a humanos tales como alergia, toxicidad o infección. Estas partículas pueden estar conformadas por virus, bacterias, esporas, polen y en general resto de microorganismos con un diámetro aerodinámico comprendido entre 0.5 y 100 μm (Cox & Whates, 1995). En los bioaerosoles se pueden encontrar microorganismos cuya presencia en la atmósfera ha sido comprobada por el crecimiento de estos en medios de cultivo denominándose cultivables; estos representan sólo una pequeña fracción de la población que llega a la atmósfera, debido a que la mayoría de estos microorganismos podrían encontrarse muertos o encontrarse en forma no cultivable (Cox & Whates, 1995; De la Rosa & Ullán, 2002; Rosas y col., 2004).

2.1.2.2. Fuente de emisión de contaminantes

Teniendo en cuenta que las emisiones generadas por el desarrollo de diversas actividades humanas, constituyen un gran porcentaje de la contaminación del aire dentro de las grandes ciudades; estas han sido clasificadas en cuatro grupos (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)., 2012):

1) Fuentes fijas o estacionarias: Existen cientos de miles de fuentes estacionarias de contaminación del aire, como las plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo, fábricas, etc. Según la industria o proceso específico, las fuentes estacionarias pueden emitir uno o varios.

2) Fuentes móviles: Están compuestas por cualquier tipo de vehículos de combustión a motor ya sea de gasolina, diésel, motocicletas, aviones, incluidas fuentes lineales.

3) Fuentes de área: Se refiere a una serie de fuentes pequeñas, numerosas y dispersas, que no pueden ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales, pero que en conjunto pueden afectar la calidad del aire en una región, estas incluyen el consumo de cigarrillo, los agentes biológicos que han sido transportados por el aire (polen, ácaros, moho, insectos, microorganismos, alérgenos de mascotas), etc.

4) Fuentes naturales: Además de las actividades humanas, los fenómenos naturales y la vida animal y vegetal pueden jugar un papel importante en el problema de la contaminación del aire, por ejemplo: las emisiones biogénicas (la vegetación); las emisiones de suelo (como parte de los procesos de desnitrificación); la erosión eólica; etc.

2.1.2.3. Factores físicos que intervienen en el transporte y difusión de los contaminantes

Las variaciones globales y locales del clima, además de las condiciones topográficas entre otros, son factores que influyen tanto el transporte como la dispersión de contaminantes del aire. Para el caso de la dirección predominante de los vientos, en Centroamérica es de este a oeste y en Norte y Sur América es de oeste a este (Rosas y col., 2004; Inche, 2012; Gallego y col., 2012). Y Dentro de los factores físicos más importantes que intervienen en el transporte y difusión de los contaminantes atmosféricos son: a) Los factores meteorológicos; velocidad y dirección del viento, gradiente de temperatura y turbulencia atmosférica; y b) Los factores topográficos (Gallego y col., 2012; Inche, 2012).

FACTORES METEOROLÓGICOS.

Velocidad y la dirección del viento. El viento se produce debido al movimiento de la Tierra y al desplazamiento de masas de aire. La velocidad del viento es nula en la superficie de la Tierra, debido a la fricción que ejerce ésta sobre él. La velocidad del viento aumenta con la altura, pero cerca de la superficie (dentro de la capa límite atmosférica) tiene variaciones de magnitud y dirección que dependen de la rugosidad del terreno. La velocidad del viento influye sobre los contaminantes emitidos al aire principalmente en tres aspectos:

- 1) Diluye continuamente los contaminantes emitidos.
- 2) Interviene en el tiempo de transporte del contaminante, de la fuente al receptor.
- 3) Limita la ascensión de los contaminantes en la atmósfera.

Gradiente de temperatura. En la parte baja de la tropósfera, la temperatura del aire por lo general disminuye con la altitud. A la velocidad con la que el aire reduce su temperatura se le conoce como gradiente de temperatura ambiente (GTA). Por otro lado, si la difusión de temperatura ocurre a una velocidad de $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, sin pérdida ni ganancia de calor, entonces a este fenómeno se le llama gradiente de temperatura seca adiabática (GTSA), el cual favorecerá la dispersión de la contaminación. Generalmente, cuando el aire caliente está por encima del aire frío se presentan condiciones atmosféricas estables, de este modo se inhibe la mezcla vertical: esta condición se denomina Inversión Térmica. Cuando hay una ligera mezcla, los contaminantes permanecen en la zona baja y tienden a aparecer en concentraciones mayores.

Turbulencia atmosférica. La atmósfera tiene movimientos aparentemente eventuales, los cuales varían rápidamente. La turbulencia es el movimiento del viento altamente irregular; se produce por la diferencia de velocidad y de direcciones de las masas de aire, por el movimiento del aire al chocar con objetos y por la variación de temperatura en las masas de aire. La turbulencia es el proceso de mezcla más importante que provoca la dispersión de los contaminantes en las capas bajas de la tropósfera.

FACTORES TOPOGRÁFICOS.

Las grandes ciudades rodeadas de una topografía compleja como valles o cadenas montañosas a menudo experimentan altas concentraciones de contaminantes del aire. Por ejemplo la Ciudad de los Ángeles (USA) y la Ciudad de México están ubicadas en cuencas rodeadas por montañas y experimentan altos niveles de contaminación (Gallegos, 2010; Inche, 2012).

Todo obstáculo o elemento del relieve natural puede influir sensiblemente en la dispersión de un contaminante en la atmósfera. Así pues, la velocidad y dirección del flujo de aire pueden ser modificadas alrededor y por encima de un obstáculo; esto puede producir condiciones que afectan o contribuyen a la dispersión de los contaminantes. La forma del obstáculo, sus dimensiones y su posición respecto a la dirección del viento son los parámetros que determinan la influencia del relieve sobre el transporte y la difusión de contaminantes atmosféricos (Gallegos, 2010; Inche, 2012).

2.1.3. Modelos de dispersión y transporte

Las estrategia para mejorar la calidad del aire se centra principalmente en: a) la recopilación de información precisa sobre la calidad del aire y la elaboración de inventarios de emisiones; b) el desarrollo y la aplicación de normas, programas y otros instrumentos económicos que limiten las emisiones; c) la cooperación intersectorial, regional y transfronteriza, además de la difusión de la información; y d) la concientización ciudadana. Junto a los programas de vigilancia e inventario de emisiones los modelos de dispersión y transporte se presentan como un instrumento más para los estudios de evaluación de la calidad del aire. El modelado matemático es una herramienta imprescindible en el estudio de la contaminación atmosférica

para entender los procesos implicados. Ante un fenómeno observado, se precisa la recopilación de información lo más detallada posible del fenómeno, posteriormente se elabora una hipótesis que explique dicho fenómeno y se plantean una serie de ecuaciones que simulen matemáticamente dicho fenómeno, lo que presupone el entendimiento del mismo y la propuesta de un conjunto de soluciones. En definitiva, para la correcta aplicación de un modelo matemático se debe definir el problema, construir o seleccionar el modelo adecuado, especificar los parámetros y variables de partida, ejecutar la modelación, evaluar y validar los resultados. En la actualidad la utilización de estas técnicas de estimación de dispersión y transporte de los contaminantes atmosféricos, no está generalizada y aun no se han establecido criterios objetivos y claros que ayuden a seleccionar los modelos más adecuados para una zona concreta y que permitan la comparación de los datos obtenidos a nivel internacional; por lo que se han desarrollado un gran número de modelos, agrupados en diferentes categorías dentro de los cuales encontramos los modelos matemáticos orientados a procesos y los modelos estadísticos.

2.1.3.1. Modelos matemáticos orientados a diferentes procesos atmosféricos

Estos modelos relacionan causa y efecto, basándose en descripciones matemáticas de los procesos atmosféricos de los contaminantes emitidos al aire. Estos modelos son los que tiene una mayor aplicación práctica y han constituido una buena aproximación a la situación real. Estos modelos son una combinación de otros submodelos, dependiendo del proceso que se pretenda simular. Dentro de los submodelos utilizados tenemos (Gallego y col., 2012).

- Modelos de Difusión. Simulan el efecto de dispersión turbulenta y el transporte sobre los contaminantes (Modelo Gaussiano, Modelo Euleriano y Modelo Lagrangiano).
- Modelos Meteorológicos. Permiten conocer valores de datos meteorológicos necesarios para los modelos de difusión como la difusión de las turbulencias, diagnóstico de velocidad del viento, pronóstico meteorológico, etc.
- Modelos de Sobreelevación del Penacho. Simula el efecto producido por la flotabilidad de los penachos en fuentes estacionarias.

- Modelos de Depósito. Calcula el flujo de depósito de las concentraciones de contaminantes locales que pueden depositarse en determinada área.
- Modelos Químicos. Simulan las variaciones en la concentración de contaminantes debidas a transformaciones químicas.

2.1.3.2. Modelos estadísticos

Se basan en relaciones empíricas entre variables atmosféricas y concentraciones de contaminantes medidas por el receptor (ríos, embalses, poblaciones, etc.). Estos modelos aunque no consideran los complejos procesos físicos que tiene lugar en el transporte y difusión de los contaminantes, se muestran muy útiles para predicciones a corto plazo y en condiciones locales. Dentro de este grupo de modelos están.

- Modelos de tiempos promedios o de distribución estadística de los datos de concentración. Relacionan los valores medios de concentración de un contaminante para dos períodos de tiempo con la media de las concentraciones máximas; sólo pueden aplicarse en las condiciones para los que han sido optimizados.
- Modelos de análisis espectral. Correlaciona datos meteorológicos y concentraciones de contaminantes de series temporales.
- Modelos de análisis de series temporales. Evalúa patrones de evolución de series temporales de datos meteorológicos y de contaminantes.
- Modelos de análisis de regresión. Es un análisis de series temporales múltiples que establecen relaciones estadísticas simultáneas entre los datos meteorológicos y las concentraciones de contaminantes en un determinado tiempo y área, prediciendo los valores observables en el momento actual.
- Modelos de receptor multivariable. Relacionan la composición química de la inmisión con la composición química de la emisión desde distintas fuentes, pudiendo predecir el número de fuentes emisoras que afecta al receptor (Gallego y col., 2012).

2.1.3.3. Modelo Gaussiano

Estos modelos se basan en hipótesis relativamente sencillas de acuerdo con la naturaleza de la turbulencia y la dispersión del contaminante. Son muy utilizadas ya que son modelos muy intuitivos, fáciles y manejables. Estos modelos de difusión son válidos en el límite de largos tiempos de difusión, en condiciones meteorológicas estacionarias, una turbulencia homogénea y vientos constantes. Asumen que la distribución del contaminante dentro de la emisión sigue una distribución gaussiana (campana de Gauss). Los mecanismos e hipótesis considerados en este tipo de modelos se presentan en la Tabla 1 (Gallegos, 2010; Gallego y col., 2012).

Tabla 1. Mecanismos e hipótesis considerados en los modelos gaussianos.

MECANISMOS CONSIDERADOS	HIPÓTESIS
<ul style="list-style-type: none">• Dilución• Estabilidad térmica• Principio de continuidad (efecto fuente)• Dispersión turbulenta	<ul style="list-style-type: none">• Emisión constante de los contaminantes• La contaminación no disminuye por depósito o transformación química• Velocidad del viento constante en tiempo y elevación superiores a 2m/s• Terreno relativamente llano y sin obstáculos• Escala de tiempo de 10 a 20 min• Reflexión turbulenta cerca del suelo

Fuente: Gallego y col., 2012.

El modelo de Pasquill-Gifford o de penacho gaussiano se basa en una expresión tridimensional sencilla que supone que la distribución de las concentraciones de contaminantes, según las hipótesis anteriores (Tabla 1) se ajusta a una función de distribución normal (gaussiana) con la máxima concentración localizada en el eje del penacho (Figura 2).

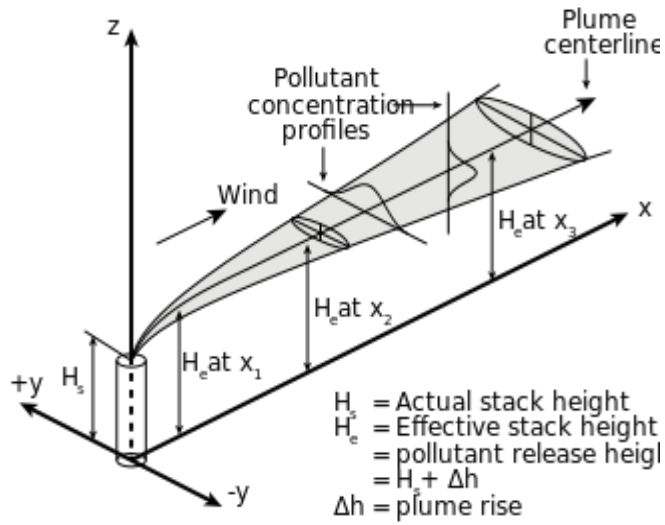


Figura 2. Coordenadas espaciales en el modelo gaussiano de Pasquill-Gifford.

Una de las aplicaciones más importantes del modelo de difusión de Pasquill-Gifford es la estimación de la concentración de un contaminante en un punto dado. Existen diferentes expresiones matemáticas para las variantes posibles de la emisión de un contaminante (Tabla 2).

Tabla 2. Ecuaciones del modelo de difusión gaussiano.

TIPO DE FUENTE	ECUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN
Fuente puntual instantánea	$C_{(x,y,z,t)} = \frac{Q}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{x - ut}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}$
Fuente puntual continua	<p>A nivel de suelo</p> $C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \exp - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}$
	<p>A nivel de suelo y en línea central de la dispersión</p> $C_{(x,0,0)} = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z}$
	<p>A la altura efectiva de la chimenea (H_e) considerando la reflexión a nivel de suelo</p> $C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \exp - \frac{(z - H_e)^2}{2\sigma_z^2} + \exp - \frac{(z + H_e)^2}{2\sigma_z^2}$ $C_{(x,y,0)} = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \exp - \frac{(H_e)^2}{2\sigma_z^2}$ $C_{(x,0,0)} = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{(H_e)^2}{2\sigma_z^2}$
	<p>A la altura efectiva de la chimenea (H_e) sin considerar la reflexión a nivel de suelo</p> $C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \exp - \frac{(z - H_e)^2}{2\sigma_z^2}$
Fuente lineal	$C_{(x,0)} = \frac{2q}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} u \sigma_z} \exp - \frac{1}{2} \frac{He}{\sigma_z}$

$C_{(x,y,z)}$; concentración del contaminante en un punto dado.
 x, y, z ; son las coordenadas en metros, siendo x la dirección del viento. El origen de las coordenadas
 Q ; es el caudal de emisión (g/s).
 u ; velocidad del viento (m/s).

t ; tiempo de viaje del contaminante (s).
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$; desviaciones típicas de la distribución de contaminantes según los tres ejes (longitudinal, Transversal y vertical) (m).
 q ; caudal por unidad de distancia.

Fuente: (Gallego y col., 2012).

2.1.4. Microorganismos en el aire

La atmósfera en sí misma, no constituye un ecosistema o conjunto de ecosistemas, sus características fisicoquímicas hacen que no sea un medio en el que los seres vivos puedan desarrollarse y producirse. Sin embargo, la tropósfera al formar interface con las superficies acuática y terrestre es parte integrante del conjunto de ecosistemas aeróbicos de la Tierra. Esto conlleva a que la atmósfera sea receptora de los seres vivos, procedentes de hábitats acuáticos o terrestres, que debido a su pequeño tamaño pueden quedar suspendidos y dispersos en el aire (Rosas y col, 2004).

La mayoría de las variables físicas y químicas de la atmósfera no favorece el crecimiento microbiano. La temperatura disminuye al aumentar la altitud de la troposfera. En la parte superior de ésta, las temperaturas oscilan entre -43°C y -83°C , muy por debajo de la temperatura mínima de crecimiento que toleran los microorganismos. Al aumentar la altitud la presión atmosférica disminuye y la concentración de oxígeno disponible se reduce hasta un punto en el que es imposible la respiración aeróbica. Las bajas concentraciones de carbono orgánico son insuficientes para permitir un crecimiento heterotrófico; el agua disponible también es escasa y limita incluso la posibilidad de un crecimiento autotrófico de microorganismos en la atmósfera (De la Rosa & Ullán, 2002; Rosas y col, 2004).

Por lo general, los microorganismos se encuentran en el aire en cantidades pequeñas en comparación con el suelo o el agua y muy rara vez, son metabólicamente activos debido a la escasez de agua y los bajos niveles de nutrientes que hay en la atmósfera. Las esporas de hongos, bacterias y algas así como quistes de protozoarios y células vegetativas de todos los grupos mueren rápidamente en la atmósfera, a menos que estén protegidos contra las radiaciones ultravioleta y la desecación. Algunas partículas como las esporas, se sedimentan cuando el aire está tranquilo y por lo tanto, dependen de la turbulencia y las corrientes de convección para permanecer en el aire. El aire es principalmente importante como medio de transporte y dispersión de los microorganismos (Rosas y col, 2004).

Según Bovallius y col., muchos factores son probablemente responsables de la alta concentración de bacterias en el aire en una ciudad. Un factor importante puede ser la intensidad del ajetreado tráfico en una gran ciudad, causando un flujo de aire turbulento que es probablemente más importante que el efecto del viento para la diseminación de bacterias y

otras partículas. También se sabe que los lugares cerrados y en zonas urbanas el número de bacterias en el aire se relaciona con la cantidad de polvo en suspensión. La gran cantidad de personas en una ciudad es probablemente también una fuente de microorganismo en el aire. La correlación entre las bacterias en el aire y la concentración de los contaminantes del aire también ha sido reportado (Bovallius y col, 1978).

Los Actinomicetos son el componente mayor de los bioaerosoles presentes en la atmósfera, procedentes de las instalaciones de compostaje con el consecuente deterioro de la calidad del aire en áreas cercanas (Lacey, 1997; Awad & Gendy, 2013). La inhalación prolongada de esporas de Actinomicetos genera efectos adversos a la salud humana (Douwes *et al.*, 2003), incluyendo alveolitis alérgica y otras respuestas adversas en el sistema respiratorio (Reboux y col., 2001; Herr y col., 2003).

2.1.4.1. Dispersión de los microorganismos en la atmósfera

Durante la dispersión, los microorganismos acuáticos y del suelo pueden entrar y pasar a través de la atmósfera antes de alcanzar otros ecosistemas acuáticos o terrestres favorables. La dispersión a través de la atmósfera garantiza la supervivencia de muchos de ellos. Algunos son transportados por el aire como células vegetativas activas, pero en la atmósfera lo más común es que los microorganismos se encuentran en forma de esporas. En términos metabólicos, las esporas son menos activas que las células vegetativas y generalmente están mejor adaptadas a la superficie en la atmósfera. Las esporas cuya primera función es la dispersión se conocen como xenosporas. Los hongos, algas, algunos protozoos, algunas bacterias, como los Actinomicetos y líquenes producen esporas que se diseminan a través de la atmósfera (Atlas & Bartha, 2002). Un porcentaje muy elevado de ellas no sobrevive al desplazamiento por la atmósfera hacia los hábitats que favorecen su germinación; no obstante, es suficiente el éxito de un pequeño número de esporas para asegurar la supervivencia y dispersión de los microorganismos. Diversas adaptaciones complementarias aumentan la capacidad de una espora para salir indemne tras su paso por la atmósfera, algunas tienen paredes gruesas, que las protegen contra la desecación extrema; las hay pigmentadas, lo cual aumenta su protección a la exposición a radiaciones UV. Las esporas pueden ser relativamente ligeras, incluso

contener vacuolas de gas; presentan morfologías muy variadas, algunas tienen forma aerodinámica que les resulta favorable para desplazarse horizontalmente a través de la atmósfera, cuanto mayor es la velocidad del viento y más baja la humedad, mayor es el movimiento de las esporas. (Gregory, 1973; Bowers et al., 2011).

Las esporas y los microorganismos vegetativos suelen entrar en la atmósfera como aerosoles. Estos se forman a partir de una gran variedad de fuentes, como el golpear las gotas de lluvia; el agua emitida a la atmósfera proveniente de las olas; las corrientes rápidas de agua al chocar contra objetos sólidos como las rocas en los ríos; el movimiento de gas a través de una columna de agua como las burbujas de gas que suben desde el sedimento; las corrientes forzadas de aire en las plantas depuradoras de agua residuales, etc. (Teltsch & Katznelson, 1978; Reponen et al., 1998). Algunos microorganismos se liberan en forma de gotitas por medio de la tos y de los estornudos humanos o de otros animales, siendo una importante vía de dispersión a la atmósfera de algunas bacterias y virus animales (McKissich et al., 1970).

2.1.5. Actinomicetos

Los Actinomicetos constituyen un grupo diverso de bacilos grampositivos. Las células de estos se elongan para dar formar filamentosas ramificadas (hifas) las cuales dependen de la cepa, del medio de crecimiento y de la temperatura de incubación. Algunos microorganismos forman filamentos, o hifas, en la superficie del agar o en su espesor, mientras que otros se proyectan en el aire. Estos microorganismos son aerobios, anaerobios facultativos o anaerobios estrictos (Forbes *et al.*, 2009). Dentro de sus características particulares presentan olor típico a suelo húmedo por la producción de un metabolito llamado “geosmina” (Ben-Omar y col., 1997).

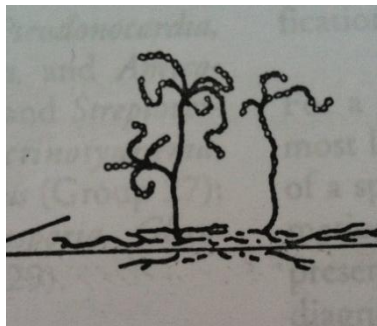
Superficialmente su morfología asemejan a un hongos filamentosos; sin embargo, sus filamentos son células con un diámetro menor que el de los hongos. Tanto las bacterias como los hongos, son residentes comunes del suelo, donde el crecimiento en forma filamentosos facilita sortear brechas sin agua entre las partículas del suelo para alcanzar otros sitios nutricionales (Tortora y col., 2007).

Los Actinomicetos pueden ser reconocidos en el laboratorio por que forman colonias lisas firmes, adherentes, cerosas o calcáreas que crecen después de 3 días a 2 semanas de incubación. Pueden tener una pigmentación ocre, rosada anaranjada o gris. La temperatura óptima de crecimiento es de 30 a 36 °C, tanto en la incubadora de CO₂ como en el aire ambiente. Crecen bien en medios con base de huevo de Lowenstein Jensen o en agar sintético de Middlebrook y en la mayoría de los medios de aislamiento de hongos que carecen de cicloheximida. Los Actinomicetos aerobios poseen una amplia distribución en la naturaleza donde participan en la descomposición de la materia orgánica de origen vegetal. Las cepas pueden ser aisladas a partir del suelo, de los sedimentos marinos y de las heces de diversos animales (Koneman et al., 2008).

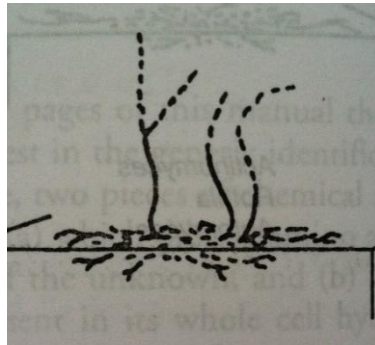
Los Actinomicetos son productores de una serie de enzimas de biodegradación, incluyendo quitinasas, glutanasas, peroxidases (Tokala, y col., 2002). Además de producir ferrioxiaminas que son una clase importante de agentes de transporte de hierro que son producidos por gran variedad de especies de *Nocardia*, *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Arthrobacter*, *Chromobacterium*, y *Pseudomonas* (Müller & Raymond, 1984).

Se describe a continuación algunos géneros de que presentan propiedades que son de interés biotecnológico y medico:

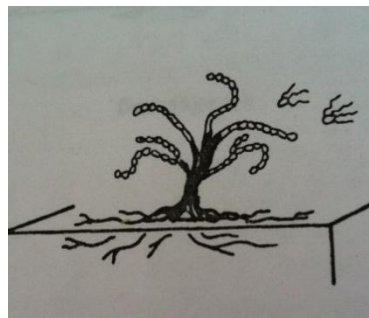
1) *Saccharopolyspora*: El micelio vegetativo está bien desarrollado, ramificado, septado de 0.4-0.8 µm de diámetro. Fragmentos en elementos en forma de vara alrededor de 1.0 x 0.5 µm, más a menudo en las partes más antiguas de la colonia y rara vez cerca de los márgenes de crecimiento. Micelio aéreo es 0.5-1.2 µm de diámetro, rectos o en espiral, y característicamente se segmenta en cadenas parecidos a cuentas de esporas, 0.7-1.5 x 0.5-0.7 µm, usualmente separadas por longitudes de hifa con segmentos en "vacío" y retenidos en una funda.



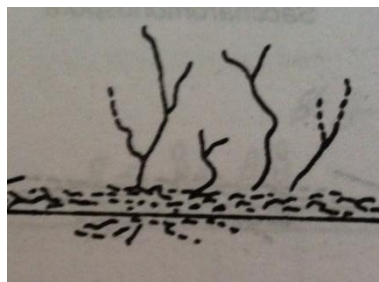
2) *Nocardioides*: Se forman elementos pleomórficos a micelio vegetativo ramificada. El micelio vegetativo muestra abundantemente hifas que crecen en la superficie y penetran en medio del agar; se rompen en fragmentos que pueden ser irregulares, en forma de varilla, o cocoides. Cuando se forma, el micelio aéreo es de consistencia irregular, escaso e irregularmente ramificado, o hifas no ramificadas que rompen en breve a fragmentos en forma de varilla alargados. Los fragmentos tanto primario y el micelio aéreo dan lugar a nuevos micelios. Producen cepas móviles y no móviles.



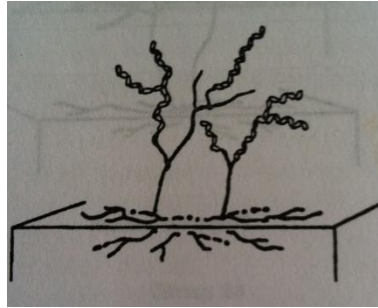
3) *Actinosynnema*: Las hifas vegetativas penetran el medio del agar y forman synnematas. Las hifas aéreas surgen de estas estructuras y llevan cadenas de esporas que pueden formar flagelos en un entorno acuoso.



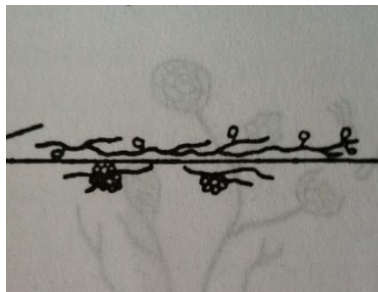
4) *Nocardia*: Hifas vegetativas rudimentarias para un amplio ramificado, 0,5-1,2 μm de diámetro, que crece en la superficie de agar y penetrante en medio del agar; las hifas fragmentan en forma de varilla o de elementos cocoides. Las hifas aéreas, a veces visibles sólo al microscopio.



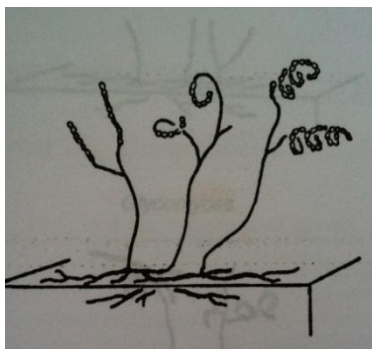
5) *Nocardiosis*: El micelio vegetativo está bien desarrollado, y las hifas son largas y densamente ramificadas; puede ocurrir la fragmentación en elementos cocoides y bacilares. El micelio aéreo es generalmente bien desarrollado y abundante; Las hifas aéreas se fragmentan completamente en esporas de varias longitudes.



6) *Micromonospora*: Colonias bien desarrollada, ramificado, micelio septado ramificados 0,5 μm de diámetro en promedio. Esporas no móviles, nacen simples, sésiles, o en esporóforos cortos o largos que ocurren a menudo en racimos ramificados. El desarrollo de esporóforos es monopodial o en algunos casos simpodial. Micelio aéreo está ausente o en algunas especies se presenta de manera irregular como una floración blanca o grisácea restringido.



7) *Streptomyces*: Las hifas vegetativas (0.5-2.0 μm de diámetro) producen un micelio ampliamente ramificada que raramente fragmentos. El micelio aéreo en la madurez forma cadenas de tres a muchas esporas. Algunas especies tienen cadenas cortas de esporas en el micelio sustrato. Esporas inmóviles. Muchas cepas producen uno o más antibióticos.



2.1.5.1. Importancia de los Actinomicetos aislados del aire y la salud humana

Los Actinomicetos pueden llegar a causar enfermedades graves en el hombre, plantas y animales, como es el caso de la pseudotuberculosis en humanos, lepra, difteria, etcétera. Sin embargo estos microorganismos son un grupo muy importante desde el punto de vista biotecnológico debido a que producen vitaminas (principalmente del grupo B), antibióticos y pigmentos de gran interés industrial. Sin embargo, otras especies producen antibióticos, como estreptomicina, eritromicina, cloranfenicol o cloromicetina, tetraciclinas y algunas más (Gama & García, 2004). En general los Actinomicetos aerobios no se aíslan con frecuencia en el laboratorio clínico; no obstante, producen enfermedades graves en el ser humano. Las infecciones que causan son difíciles de reconocer sobre la base del cuadro clínico y además los microorganismos son difíciles de aislar. Otro aspecto complicado desde el punto de vista del laboratorio es la dificultad para clasificar, identificar y realizar pruebas de sensibilidad a los antibióticos con los Actinomicetos aerobios aislados de muestras clínicas. Se tiene conocimiento de *Rhodococcus equi* como el microorganismo asociado con mayor frecuencia con enfermedades humanas en particular en pacientes inmunodeprimidos, como los infectados por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH). Las especies de *Gordonia* y *Tsukamurella* también son bacterias oportunistas que en algunos casos causan infecciones en humanos, pero se sabe poco respecto de los mecanismos patogénicos. Las especies de *Nocardia* provocan tres tipos de infecciones cutáneas en los individuos inmunocomprometidos: Micetoma, una infección subcutánea crónica, localizada e indolora. Infecciones linfocutáneas y abscesos cutáneos o celulitis (Forbes *et al.*, 2009).

2.1.5.2. Clasificación de Actinomicetos

Las técnicas químicas y genéticas modernas establecen una amplia diversidad de este grupo, y son características fenotípicas las que establecen la definición microbiológica (Tabla 3). Los Actinomicetos aerobios como un todo se ubican taxonómicamente en la clase *Actinobacteria*, orden *Actinomycetales*, suborden *Corynebacterianeae* (Koneman *et al.*, 2008).

Tabla 3. Grupos fenotípicos de los Actinomicetos aerobios.

GRUPO FENOTÍPICO	GÉNEROS Y ESPECIES REPRESENTATIVOS
Maduromicetos	Grupo de <i>Actinadura pusilla</i>
^α Nocardioformes	<i>Nocardia</i> <i>Rhodococcus</i> <i>Gordonia</i> <i>Dietzia</i> <i>Mycobacterium</i>
Nocardioides	<i>Nocardioides</i>
Streptomycetos	<i>Streptomyces</i>
Micropolispora	^β <i>Faenia</i> <i>Saccharomonospora</i> ^β <i>Saccharopolyspora</i> ^β
Termomonosporas	<i>Actinomadura madurae</i> <i>Nocardiopsis</i>
Otros Actinomicetos	^α <i>Thermoactinomyces</i> <i>Tropheryma whipplei</i> <i>Oerskovia</i> <i>Dermatophilus</i>

^α El grupo nocardiforme contienen ácidos micólicos en las paredes celulares, como las especies de *Corynebacterium*.

^β Especies termofílicas que crecen a temperaturas superiores a 50°C.

Fuente: (Koneman et al., 2008).

La mayoría de los Actinomicetos forman esporas; la forma de producir esporas, la producción o no de micelio, así como morfología microscópica entre otras cualidades, se utilizan para subdividir a los Actinomicetos, tal y como se indica en la siguiente tabla para Actinomicetos Filamentosos (Madigan *et al.*, 2009) (Tabla 4).

Tabla 4. Actinomicetos, características y clasificación por grupos.

Grupo I. Actinomicetos: no AAR; anaerobios facultativos; no forman micelio; se pueden producir filamentos ramificados; bacilos, cocos o células Corineformes
Actinomyces: anaerobio a facultativo; microcolonia filamentosa, con filamentos transitorios que se fragmentan dando células Corineformes; pueden ser patogénicos en humanos u otros animales; se encuentran en la cavidad bucal
Otros géneros: *Arachnia*, *Bacterionema*, *Rothia*, *Agromyces*

Grupo II. Micobacterias: ARR, filamentos transitorios
Mycobacterium: patógenos, saprófitos; anaerobios estrictos; contenido lipídico elevado en células y paredes; ácido micólico; nutrición simple, crecimiento lento; tuberculosis, lepra, granulomas, tuberculosis aviar; también organismos del suelo; oxidadores de hidrocarburos

Grupo III. Actinomicetos: fijadores de nitrógeno simbioses de plantas; productores de auténtico micelio
Frankia: forma nódulos de dos tipos en varias raíces de plantas; probablemente microaerófilos; crecen lento; fija N₂

Grupo IV. Actinoplanes: productores de auténtico micelio; formadores de esporas, portadoras de esporangios
Actinoplanes, *Streptosporangium*

Grupo V. Grupo dermatófilo: los filamentos de micelio se dividen transversalmente y en al menos dos planos, para formar masa de elementos con forma de coco y móviles; ausencia de micelio aéreo; ocasionalmente responsables de infecciones epidérmicas
Dermatophilus, *Geodermatophilus*

Grupo VI. Nocardias: filamentos de micelio comúnmente fragmentados para dar cocos o elementos elongados; esporas aéreas en ocasiones; a veces AAR; contenido lipídico muy elevado en células y paredes
Nocardia: organismos del suelo comunes; anaerobios estrictos; muchos utilizan hidrocarburos
Rhodococcus: saprófitos del suelo, también comunes en el intestino de insectos; utilizan hidrocarburos

Grupo VII. Estreptomicetos: el micelio permanece intacto, abundante micelio aéreo y largas cadenas de esporas
Streptomyces: Casi 500 especies reconocidas, muchas producen antibióticos
Otros géneros (diferenciados morfológicamente): *Streptoverticillium*, *Sporichthya*, *Kitasatoa*

Grupo VIII. Grupo micromonosporas: micelio permanece intacto; esporas formadas de una en una, por paredes o cadenas cortas; varias termófilas, saprófitos encontrados en el suelo, restos vegetales en descomposición; una especie produce endosporas
Micromonospora, *Microbispora*, *Thermobispora*, *Thermoactinomices*, *Thermomonospora*

AAR: ácido alcohol resistente

Fuente: (Madigan *et al.*, 2009).

2.1.5.3. Características de las esporas de los Actinomicetos

Las esporas presentan algunas propiedades que contribuyen a su capacidad para resistir el transporte a través de la atmósfera. Tienen una tasa metabólica muy baja, de manera que no necesitan de nutrientes ni del agua del exterior para generar suficiente energía para mantenerse durante periodos prolongados. Esto es esencial para la supervivencia en la atmósfera debido a la escasez de agua y nutrientes. La germinación de las esporas requiere un ambiente favorable para el crecimiento. La actividad metabólica de las células vegetativas necesaria para el mantenimiento de la integridad celular no puede realizarse durante mucho tiempo en la atmósfera. Una vez que los materiales internos de reserva de las células se han agotado, las células vegetativas en la atmósfera no pueden generar suficiente energía para mantenerse las funciones vitales, y mueren. (Atlas & Bartha, 2002).

En los trabajos realizados por Reponen y col., en cuanto a las características de las esporas de Actinomicetos, se estudiaron tres especies de Actinomicetos: *Streptomyces albus* (arthrospora), *Micromonospora halophytica* (aleuriospora) y *Thermoactinomyces vulgaris* (endospora) que sirvieron para las determinaciones y búsqueda de características específicas de esporas del género. Las esporas de los Actinomicetos son importantes contaminantes sobre todo en ambientes como zonas dispuestas para la agricultura y residuos de zonas de compostaje. Estas esporas se forman a partir de la subdivisión de hifas existentes o por la formación de esporas endógenas, las hifas que se subdividen en las esporas pueden ser en vaina o sin esta, esto conduce a tres tipos principales de esporas: arthrospora (subdivisión de hifa envainada), aleuriospora (subdivisión de hifa sin vaina), y endospora (Reponen, Gazonko, Grinshpun, Willeke, & Cole, 1998).

Tabla 5. Tamaño físico de esporas de Actinomicetos medidas por microscopia y sistema de análisis de imagen.

Especies de Actinomicetos	Ancho (μm)	Longitud (μm)
<i>Streptomyces albus</i>	0.68 ± 0.13	0.84 ± 0.17
<i>Micromonospora halophytica</i>	0.55 ± 0.12	0.72 ± 0.17
<i>Thermoactinomyces vulgaris</i>	0.66 ± 0.12	0.79 ± 0.12

Un total de 100 esporas fueron analizadas para cada especie.

Fuente: (Reponen, Gazonko, Grinshpun, Willeke, & Cole, 1998).

Según el análisis realizado por Reponen y col. *Streptomyces albus* necesita la elevación de la temperatura de incubación. *Thermoactinomyces vulgaris* necesita del secado de la colonia y *Micromonospora halophytica* necesita de ambos de estos tratamientos para la liberación suficiente de esporas. Una explicación de la necesidad de estas condiciones específicas para mejorar la liberación de esporas se puede encontrar en el proceso de maduración. *Streptomyces albus* y *Micromonospora halophytica* se forman por la fragmentación de hifas. Si el proceso de fragmentación no se completó totalmente, por ejemplo, debido a la temperatura insuficiente, las esporas no pueden ser liberadas fácilmente, incluso cuando han crecido en cadenas de esporas que son observables bajo el microscopio. *Thermoactinomyces vulgaris* se forma en el interior de las hifas y también puede necesitar condiciones específicas antes de que las esporas se dispersen con eficacia (Reponen et al., 1998).

3. MARCO DE REFERENCIA

Bovallius y col., en 1978 realizó un análisis sobre la concentración de bacterias en el aire fue realizado durante un periodo de 3 años en cuatro localidades de Suecia: en un distrito agrícola con una media de 99 (rango de 2 a 3400) de bacterias por m^3 ; en una zona costera con una media de 63 (rango de 0-560) bacterias por m^3 ; en un parque de la ciudad con un promedio de 763 (rango de 100 a 2500) de bacterias por m^3 ; y en una calle de la ciudad con un promedio de 850 (rango de 100 a 4000) de bacterias por m^3 . En las cuatro localidades las concentraciones bacterianas variaron dentro de límites amplios. También se informa de la influencia de ciertos factores meteorológicos sobre el número de bacterias en el aire. La lluvia o la alta humedad relativa causaron una disminución de los recuentos de bacterias, mientras que la alta temperatura o vientos fuertes aumentaron los recuentos.

Li y col. en 2012 realizaron un estudio donde se cuantificó la emisión de Actinomicetos en el aire en una planta de tratamiento de aguas residuales, la concentración y la distribución del tamaño de los Actinomicetos cultivables, estos fueron examinados con un impactador de cascada de seis etapas, trabajo realizado en Xi'an, China a partir de Junio a Julio de 2011. Al mismo tiempo, también se midieron las características de las bacterias del aire para comparar con los datos de los Actinomicetos. Similar a las bacterias en el aire, la concentración y la distribución del tamaño de los Actinomicetos suspendidos en el aire se encontraron con variaciones en las diferentes fases del proceso de tratamiento de aguas residuales. La concentración media de Actinomicetos en la planta de tratamiento de aguas residuales varió de 2139 ± 229 UFC/ m^3 en el cuarto de deshidratación de lodos y 902 ± 54 UFC/ m^3 en la salida del efluente. Se detectó la mayor emisión de aerosoles de Actinomicetos en el cuarto de deshidratación de lodos, con 21 veces superior a los niveles permisibles recomendados en la literatura.

En una planta de tratamiento de aguas residuales en Bydgoszcz, Polonia en el año de 2011 Malecka-Adamowicz *et al.*, evaluaron la microflora del aire mediante dos métodos: Impactación y Sedimentación. El análisis reveló que los mohos fueron los más abundantes, seguido por bacterias heterótrofas mesófilas. Los Actinomicetos y estafilococos manitol positivos constituyen el grupo menos abundante. Los recuentos más altos de los

microorganismos estudiados (con excepción de los estafilococos) se determinaron en el sitio localizado entre los tanques de aireación y el bioreactor, que se considera son los principales emisores de contaminación microbiana de aerosol. La concentración de microorganismos disminuyó considerablemente con la distancia desde la fuente de las emisiones de aerosoles microbianos.

También existen análisis dentro de edificaciones como al aire libre, como el realizado por Grigorevski-Lima y col. en 2006, en el cual se realizaron múltiples muestreos con el muestreador Andersen de seis etapas, en distintos puntos de la ciudad de Rio de Janeiro, en Brasil. Se recogieron 59 muestras de aire, se realizaron recuentos de colonias de Actinomicetos, bacterias y hongos, lo que demuestra que los actinomicetos, a pesar de ser menos numerosos, tienen una alta concentración alrededor de 90% en las últimas tres etapas del muestreador Andersen. La presencia de Actinomicetos en los ambientes interiores analizados fue, en promedio, 11 UFC/m³, alcanzando valores máximos de 127 UFC/m³. Sesenta cepas de Actinomicetos se aislaron a partir de estas muestras y se separaron en seis grupos morfológicos.

Además se ha llevado a cabo el aislamiento e identificación de hongos en el aire a partir de tres diferentes estaciones urbanas ubicadas en Turquía trabajo realizado por Asan y col. en el 2003 llamado “Airborne Fungi and Actinomycetes concentrations in the air of Eskisehir city (Turkey)”. Las muestras de aire fueron tomadas mediante la exposición de una placa de Petri con Rosa Bengala medio de agar estreptomycinina durante 15 min y después de la incubación se contó el número de colonias que crecieron. El procedimiento de muestreo para los hongos se realizó 35 veces en las estaciones de investigación entre marzo y noviembre de 2001. Un total de 2.518 de hongos y 465 colonias de Actinomicetos fueron contadas en 420 placas de Petri durante un período de nueve meses.

En México se han realizado aislamientos de Actinomicetos a partir de suelos y aire, esto para la determinación de su antibiosis en contra de algunas especies de hongos. Un trabajo de este tipo fue llevado a cabo por Dávila *et al.*, en 2013 en el cual recopilaban 70 Actinomicetos, 25 de estos fueron antagonistas para las especies de hongos puestas a prueba, de estos solo 5 Actinomicetos mantuvieron actividad antagónica hasta por 15 días de ensayo, por observación

cualitativa en placa, demostrando que los Actinomicetos poseen un alto potencial para ser desarrollados e implementados en los programas de control biológico de patógenos de cultivos de importancia económica y que son factibles de aislarse y estudiarse.

En Guadalajara se llevó a cabo el trabajo “Calidad bacteriológica del aire en el centro histórico de Guadalajara, Jalisco, México”. En el cual se tuvo como objetivo conocer la composición microbiológica del aire, además de evaluar dos métodos de muestreo, uno por gravedad y otro mecánico y conocer la percepción de la población presente en el área de estudio, para la contaminación microbiológica del aire. Los resultados, de acuerdo con el conteo mostraron que las bacterias que se observaron en una mayor cantidad están cerca de avenidas importantes. Se encontraron bacterias como *Klebsiella*, *Chrisomona*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Vibrio*, *Vorynebacterium*, *Aerococcus* y *Bacillus* (García y col., 2006).

En Puebla se tiene un reporte de cuantificación de bioaerosoles en las áreas de proceso de una industria zapatera poblana y su relación con la salud de los trabajadores, en el cual se evaluó la frecuencia y el tipo de poblaciones microbianas de bioaerosoles presentes en el aire de cuatro áreas de proceso de elaboración de calzado, obteniendo como resultados que en los bioaerosoles la población bacteriana estuvo presente en 39% de las muestras, el desarrollo de levaduras fue 32% y el de los hongos fue de 29%. Entre las bacterias el 47% fueron grampositivas, 32% gramnegativas y el 21% Actinomicetos (Castañeda y col., 2006).

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día son ampliamente conocidos los problemas de contaminación ambiental, particularmente el del aire, ya que los microorganismos pueden ser transportados rápidamente en forma de bioaerosoles a través de grandes distancias con el movimiento del aire, que representa el mejor camino de dispersión. La calidad del aire del medio ambiente externo como interno está influenciada por la acción de distintas partículas suspendidas en la atmósfera. La absorción y deposición de estas partículas en las distintas partes del sistema respiratorio, bebidas expuestas, alimentos, etc., pueden tener consecuencias directas sobre la salud humana, de animales y plantas, además de materiales no vivos como pinturas, metales y telas. Una de las características de la calidad del aire en las zonas urbanas y su influencia sobre la calidad de la vida de la población y el ambiente, es la contaminación por partículas tanto bióticas como abióticas que son generadas por un incremento en la densidad poblacional y el flujo vehicular, fenómenos que muchas veces no van acompañados de programas para proteger el medio ambiente, ocasionando cambios en el estilo de vida de la población y acentuando las diferencias en la calidad de vida urbana entre los distintos sectores sociales. El aire contiene en suspensión diferentes tipos de microorganismos ya que algunos han creado mecanismos de adaptación especializados que favorecen su dispersión y supervivencia en la atmósfera, la presencia de uno u otro tipo dependen del origen, de la dirección e intensidad de las corrientes de aire y de la capacidad de supervivencia del microorganismo. El transporte y dispersión de los agentes biológicos se realiza sobre fragmentos de hojas secas, partículas de polvo, piel, fibras de la ropa, en gotas de agua y de saliva producida al toser, estornudar o hablar. Algunos microorganismos se encuentran en forma de células vegetativas, pero lo más frecuente son las formas esporuladas, ya que son metabólicamente menos activas y sobreviven mejor en la atmósfera por que soportan la desecación. En el aire se aíslan frecuentemente bacterias esporuladas entre las que se encuentran los Actinomicetos, género bacteriano que se localiza abundantemente en el suelo, lagos, ríos y estiércol de animales. Ciertas especies de Actinomicetos tienen gran importancia clínica como agentes patógenos ya que sus esporas pueden ser inhaladas o depositadas en heridas provocando infecciones respiratorias, cutáneas, subcutáneas, de tipo diseminado, etc. Afectando principalmente a personas inmunocomprometidas, inmunodeprimidas, ancianos, niños, etc. En consecuencia se hace

necesario llevar a cabo estudios del medio ambiente urbano, que permitan visualizar el estado de contaminación y los efectos en la calidad de vida de los habitantes de las ciudades.

5. JUSTIFICACIÓN

El Estado de Puebla como muchas otras regiones de nuestro País, presenta serios problemas estructurales y de desequilibrios, al haber privilegiado el crecimiento sobre el desarrollo, lo que ha generado un déficit ambiental, dando poco valor a las acciones encaminadas a proveernos de servicios ambientales. Las investigaciones relacionadas con la calidad de aire y su impacto en la salud de la población y el cambio climático han sido orientadas principalmente a la caracterización del material particulado (MP) orgánico e inorgánico, primario como secundario, lo que ha dado lugar a establecer políticas de prevención y control a través de acciones que garanticen el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas, de manera coordinada entre gobierno y sociedad. El Gobierno del Estado de Puebla, a través de la Secretaría de Sustentabilidad Ambiental y Ordenamiento Territorial, en coordinación con la SEMARNAT, elaboraron el Programa de Gestión de la Calidad del Aire para el periodo 2012 – 2020 (proAire), el cual establece las líneas de acción que garantizan el mejoramiento de la calidad del aire que respiramos. Sin embargo, hay numerosas enfermedades bacterianas transmitidas por el aire, producidas principalmente por bacterias grampositivas como los Actinomicetos que han sido relacionados con la incidencia de alveolitis alérgica y otros efectos severos como la producción de micetomas, inflamación y lesión tisular en los pulmones, etc., principalmente en personas con mayor susceptibilidad a infecciones por estos microorganismos. Los Actinomicetos son un diverso grupo de bacterias cuyas esporas forman parte importante de los agentes bióticos contaminantes del aire y recientemente han adquirido especial atención debido a que al ser desplazados por las corrientes de aire se han detectado ocasionando problemas de moho en los edificios. En el presente trabajo se realizó un estudio preliminar del tipo de Actinomicetos presentes en muestras de aire en la ciudad de Puebla además de la probable dispersión aerobiológica de las cepas en función de las características propias del medio ambiente en el periodo de muestreo diciembre 2012 a diciembre 2013.

6. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVOS GENERAL

Identificar la presencia de Actinomicetos en muestras de aire tomadas durante el periodo diciembre 2012 - diciembre 2013 en seis diferentes zonas de la Ciudad de Puebla.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar tomas de muestra de aire en seis diferentes zonas de la Ciudad de Puebla, por el Método de sedimentación en Placa.
2. Identificar los Actinomicetos obtenidos en las muestras de aire por medio de sus características macroscópicas y microscópicas.
3. Caracterizar fenotípicamente los Actinomicetos, por medio de pruebas bioquímicas y la realización de microcultivos.
4. Aplicar un modelo matemático de dispersión que permita describir el probable desplazamiento aerobiológico de los Actinomicetos.

7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

7.1. TIPO DE ESTUDIO

Descriptivo, Longitudinal, Prospectivo.

7.2. UNIVERSO DE ESTUDIO

Todas las cepas bacterianas que cumplan con los criterios de caracterización fenotípica macroscópica y microscópica.

7.3. TAMAÑO DE LA MUESTRA

Se tomaron de 4-5 muestras por zona de muestreo que presentaron características fenotípicas de Actinomicetos.

Los puntos de muestreo por zona fueron:

Zona norte (Blvd. Norte y Calle 15 Norte)

Zona Sur (11 Sur y Blvd. Las Torres)

Zona Este (Carretera Federal Tehuacán y Clavijero)

Zona Oeste (Blvd. Atlixco y Juan Pablo II)

Zona Centro A (11 Sur y Avenida Reforma)

Zona Centro B (Blvd. 5 de Mayo y 14 Oriente)

7.4. SEDE Y LUGAR DE ESTUDIO

Sede: Ciudad de Puebla

Lugar de estudio: Departamento de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas, BUAP.

7.5. CRITERIOS SELECCIÓN

Criterios de inclusión: Todas las cepas que presentaron las características fenotípicas de Actinomicetos de acuerdo a su morfología macroscópica y microscópica, pruebas bioquímicas así como microcultivo (Holt, y col., 1994).

Criterios de exclusión: Todas las cepas que no presentaron las características fenotípicas de Actinomicetos.

8. MATERIAL Y MÉTODOS

8.1. MATERIAL.

Cepas de referencia proporcionadas por el cepario del departamento de microbiología de la B.U.A.P:

Proteus mirabilis, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*

8.2. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA.

Se obtuvo un total de 1020 cepas bacterianas aisladas de las diferentes zonas en la ciudad de Puebla, durante el período de diciembre 2012 a diciembre de 2013; por medio de la Técnica de Sedimentación por Gravedad (Frankland & Hart, 1887). Las placas con agar soya tripticasa y agar sabouraud permanecieron expuestas un período de aproximadamente 15 minutos, a una altura de entre 1.5 m y 2.0 m, tomando en cuenta que es la altura que forma parte del microclima del hombre tanto en áreas interiores como exteriores (Lighthart & Shaffer, 1995; De la Rosa et al., 2002; Rosas y col., 2004). De estas 1020 cepas se seleccionaron de forma aleatoria los aislados cuyas colonias presentaban las características macroscópicas similares a los Actinomicetos, se aislaron en agar nutritivo y se realizaron las observaciones microscópicas (tinción de Gram y tinción de Ziehl-Neelsen); a continuación se realizaron las pruebas bioquímicas y microcultivos según el Bergey's Manual of determinative Bacteriology, hasta obtener un total de 25 cepas de Actinomicetos. (Holt y col., 1994).

8.3. IDENTIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO

8.3.1. Identificación.

8.3.1.1. Macroscópica

Se observaron las características de crecimiento a nivel macroscópico de cada una de las colonias crecidas en las placas de agar TSA y Sabouraud (placas expuestas en las diferentes zonas muestreadas) considerado: textura, color, forma, superficie y borde. Buscando colonias de aspecto ceroso, polvoroso, adheridas al agar, de colores variantes entre blanco y grisáceo, crema, colores tierra y negro, características propias de Actinomicetos según Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. Las colonias que cumplieran con alguna de estas características fueron aisladas en agar TSA considerándolas como probables Actinomicetos.

8.3.1.2. Microscópica

Una vez aisladas las colonias mediante estría cruzada y en cultivos puros sobre agar TSA, se realizaron las observaciones microscópicas a través de la tinción de Gram y tinción de Ziehl-Neelsen a partir de la cual se efectúa una primera clasificación de los aislados, descartando colonias que macroscópicamente son similares a los Actinomicetos pero microscópicamente presentan una morfología diferente

8.3.1.3. Pruebas físicas

Crecimiento durante 24 horas en aerobiosis y anaerobiosis a 37°C. Dichas características para el caso de Actinomicetos se presentan como bacterias aerobias y/o microaerofílicas.

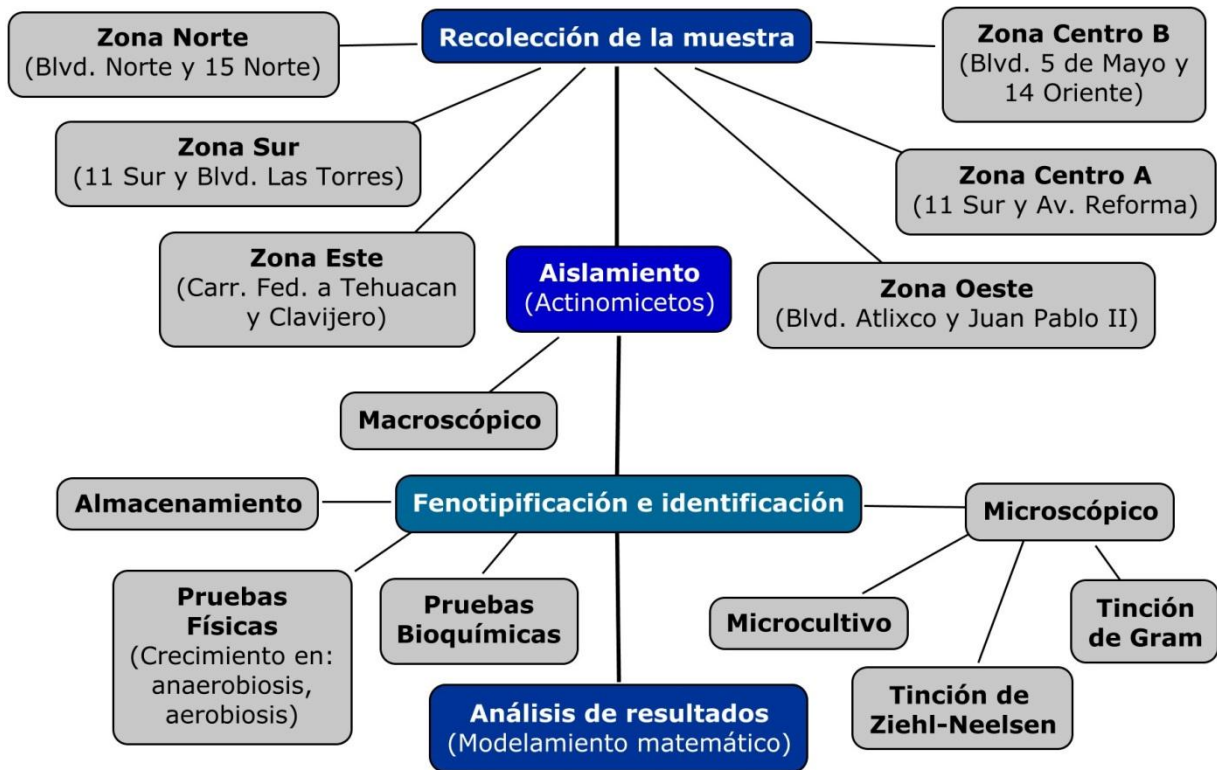
8.3.1.4. Pruebas bioquímicas

Se determinaron ciertas actividades enzimáticas las cuales sirvieron como una orientación para determinar que se trataba del género Actinomicetos; las pruebas empleadas fueron: Prueba de catalasa, prueba de oxidasa, hidrólisis de urea, hidrólisis de la gelatina, prueba de citrato de Simons y fermentación de la lactosa.

8.3.2. Almacenamiento.

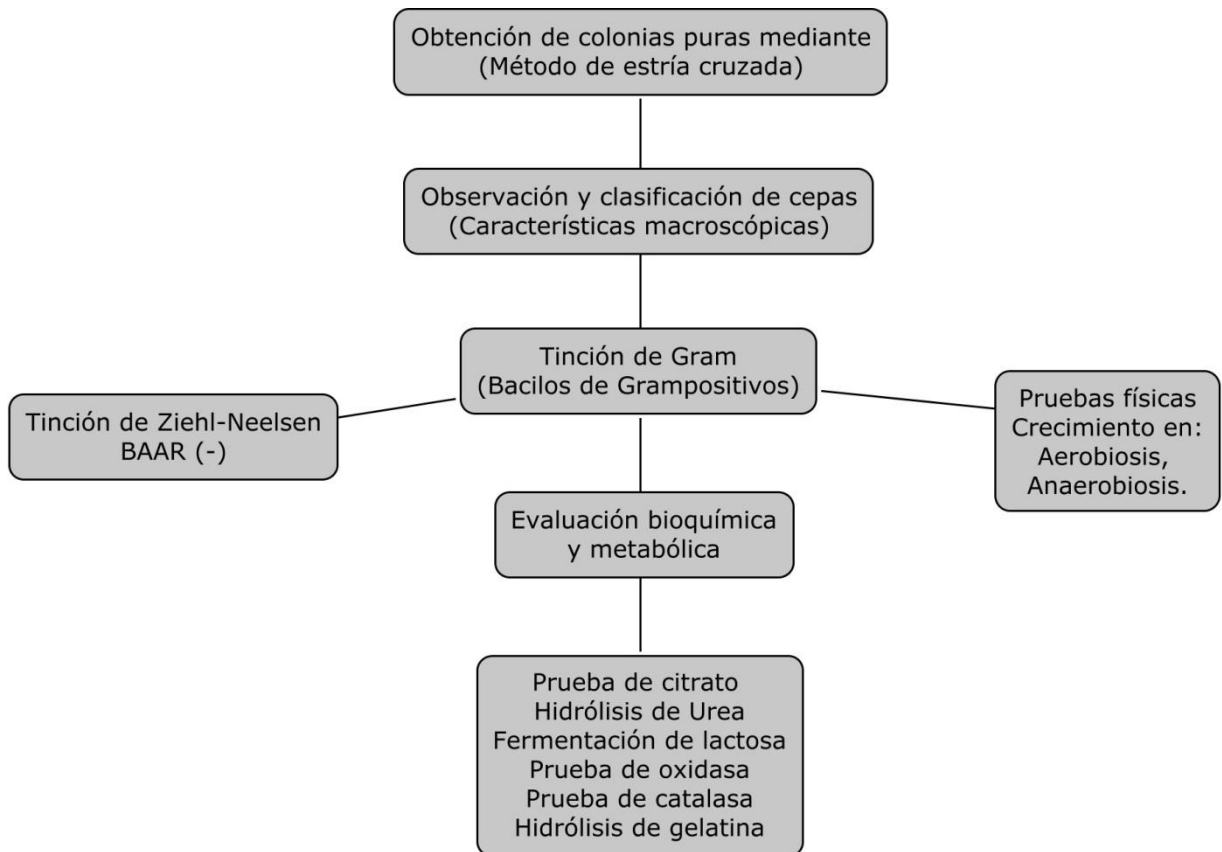
Las cepas recuperadas se almacenaron a -70°C en tubos con medio nutritivo y 20% glicerol para posteriores estudios (Sánchez & Corrales, 2005).

9. ESQUEMA GENERAL DE TRABAJO



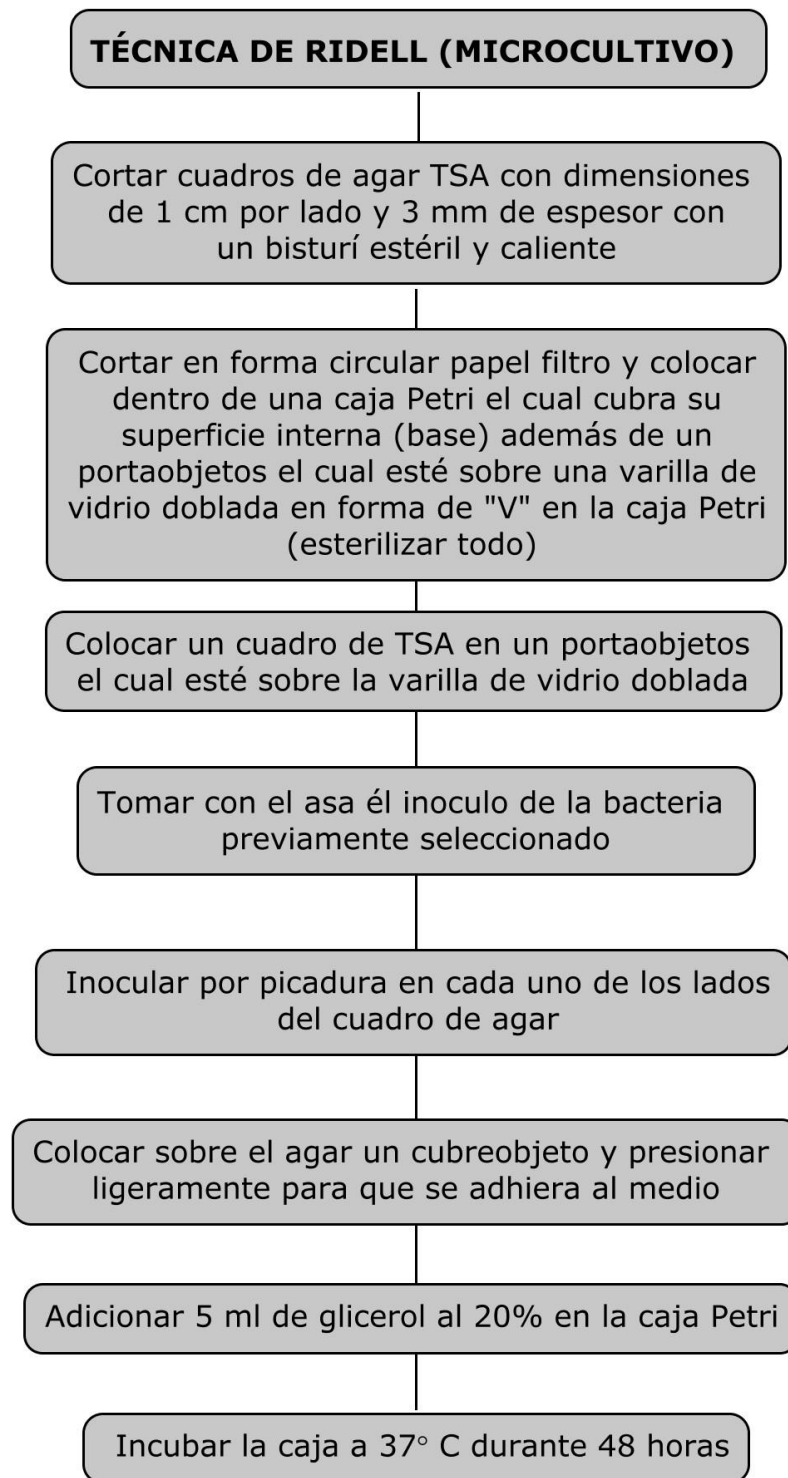
Fuente: Estudio efectuado.

9.1. ESQUEMA DE FENOTIPIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN.



Fuente: Estudio efectuado.

9.2. ESQUEMA DE MICROCULTIVO.



Fuente: Estudio efectuado.

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se recopiló un total de 1020 aislamientos recolectados en diferentes puntos de la ciudad de Puebla; a partir de las cuales se seleccionaron 25 cepas de Actinomicetos considerando sus características fenotípicas. Para el proceso de muestreo se generó un formato (anexo) en el cual se describen las condiciones meteorológicas, la hora, fecha y algunas observaciones como densidad poblacional, flujo vehicular, tipos de edificaciones, áreas verdes, comercios, etc. Esta información permitió tener una idea de los principales factores que influyen en la presencia de bacterias como los Actinomicetos en la atmósfera, ya que se ha reportado que son el mayor componente de los bioaerosoles emitidos por instalaciones de compostaje (Swan *et al.*, 2003), la vegetación, el agua, el suelo, etc. y que su presencia y dispersión en el aire son consecuencia de las actividades humanas, la topografía de la región y las condiciones climáticas (Rosas y col., 2004; Breza-Boruta & Z. Paluszak, 2007; Fang *et al.*, 2008). En estudios preliminares del material particulado de 10 μm (PM10) y 2.5 μm (PM2.5), se reportó que las Actinobacterias se encuentran entre los microorganismos asociados al PM en las zonas urbanas, por lo que la velocidad del viento es uno de los factores que favorece su dispersión en el medio ambiente (Alghamdi, y otros, 2014; Awad & Gendy, 2013).

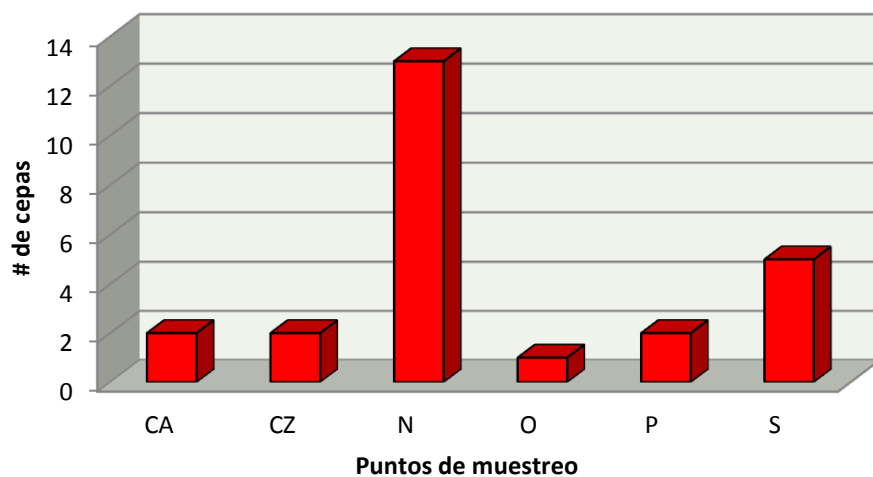
Los resultados obtenidos muestran un mayor número de Actinomicetos aislados en la zona Norte, seguida de la zona Sur, esto podría deberse a que son sitios de intercambio comercial donde se incrementa la densidad poblacional y flujo vehicular. Además a los alrededores de ambas zonas se encuentran terrenos baldíos, y áreas sin pavimentación como estacionamientos y calles secundarias por lo que se generan bioaerosoles que son desplazados por las corrientes de aire aumentando la contaminación en dichas zonas. La falta de vegetación y edificaciones elevadas en estas áreas, impide la sedimentación de contaminantes como los Actinomicetos, permaneciendo más tiempo en el ambiente, aumentando para la población de la zona el tiempo de exposición a estos contaminantes y por ende la probabilidad de adquirir infecciones. Lo anterior concuerda con lo reportado por Chen, y col., en 2012 donde se encontró que las concentraciones de bacterias en el aire son mucho más altas en un área densamente poblada. Además de que estas condiciones observadas en la zonas norte y sur de la ciudad se asemeja a lo descrito en otros trabajos en donde se ha reportado que la concentración de microorganismos en la atmósfera está relacionado con el nivel de polvo que es liberado en el

aire, principalmente bacterias como los Actinomicetos (Hýsek *et al.*, 1991; Rosas y col., 2004) y por las diversas actividades humanas, además de estar vinculado a la región geográfica, incluyendo las edificaciones que existan en el lugar y por supuesto las variaciones estacionales, lo que significa que depende a su vez del viento, la humedad, altitud y también la contaminación (di Giorgio, y col., 1996; Asan, y otros, 2003). Como diferencia entre estos puntos cabe mencionar que en la zona norte existe por igual un flujo vehicular constante durante las horas de muestreo solo que este se encuentra de manera desordenada y con un mayor número de vehículos en circulación con respecto a la zona sur (Gráfico 1).

Centro A y B, Oriente y Poniente mostraron una cantidad menor en comparación con los puntos de muestreo Norte y Sur, esto podría deberse a que las corrientes de aire en estos puntos sean de menor intensidad ya que en los alrededores existen un mayor número de edificios y árboles, también en comparación con los puntos Norte y Sur tienen la mayoría de sus áreas con pavimentación. Esto se encuentra fundamentado con la información presenta por Parker en 1983 en donde explica que los contaminantes se encuentra en dispersión sobre una corriente de aire a través de la atmósfera y una vez que estos se enfrentan a una edificación esta corriente se dispersa volviéndose turbulenta y se acomoda a la forma del edificio provocando su deposición en la superficie (Gráfico).

Gráfico 1. Puebla: Zona Centro A (CA) 2 cepas (8%), Zona Centro B (CZ) 2 cepas (8%), Zona Norte (N) 13 cepas (52%), Zona Oriente (O) 1 cepa (4%), Zona Poniente (P) 2 cepas (8%) y Zona Sur (S) 5 cepas (20%).

Reponen y col., en 1998 reportaron que los actinomicetos son conocidos por ser



contaminantes atmosféricos en entornos donde se realizan actividades agrícolas, en zonas de compostaje y en general en zonas rurales. Su ingreso a la atmósfera probablemente se deba a perturbación mecánica de la sustancia o superficie en donde se encuentra creciendo, o por la exposición al viento racheado, que origina la presencia de actinomicetos en áreas urbanas como la ciudad de Puebla.

10.1. IDENTIFICACIÓN FENOTÍPICA DE LOS ACTINOMICETOS AISLADOS DEL AIRE EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE PUEBLA.

Para la identificación y caracterización macroscópica de los Actinomicetos, algunos autores han reportado que se debe contar con colonias bien aisladas y un cultivo joven, buscando describir el comportamiento grupal, ya que cada colonia va a representar una masa de células todas provenientes de una única célula. Las características propias de la especie a la que pertenecen dependerán del tipo de agar empleado, así como la temperatura, atmósfera y tiempo de incubación (Rodríguez y col., 2005).

El Bergey's Manual of Determinative Bacteriology describe a los Actinomicetos como colonias de forma discreta, liquenoides, elevadas o convexas, ligeramente arrugadas, mucoides, gelatinosas o butirosas en apariencia. Inicialmente, las colonias están relativamente suaves en la superficie, pero más tarde desarrollan una trama de micelio aéreo que puede aparecer flocoso, granular, o apariencia de polvo. Pueden llegar a producir pigmentos el cual es responsable del color del micelio vegetativo y aéreo. También se pueden formar pigmentos difusibles de colores. Algunas con micelio aéreo escaso, a menudo se producen en mechones y sobre todo en las partes más antiguas, cuerpos en forma de cúpula, o colonias planas sobre la superficie del agar. Las colonias pueden tener un tejido grueso o aterciopelado en apariencia y pueden ser de color marrón, beige, rosa, naranja, rojo, púrpura, gris o blanco; lisa o granular; e irregular, arrugado o amontonado (Holt, y col., 1994).

Para la selección macroscópica de las 25 cepas de Actinomicetos estudiadas, se consideraron los siguientes criterios: Coloración, forma, elevación, superficie, aspecto, bordes, luz reflejado o transmitida y consistencia (Tabla 6).

Una vez aisladas las colonias en cultivos puros (Figura 3), se realizaron las observaciones microscópicas a través de la tinción de Gram y tinción de Ziehl-Neelsen (Figura 4) efectuándose una primera clasificación de los aislados, descartando colonias que macroscópicamente son similares a los Actinomicetos pero microscópicamente presentaron una morfología diferente; en el caso de los géneros *Nocardia* y *Streptomyces* se observó una ligera coloración rosada durante la tinción Ziehl-Neelsen siendo una de las características que podría confirmar los géneros correspondientes.

Para el registro de características macroscópicas se tomaron en cuenta los siguientes criterios: Coloración, forma, elevación, superficie, aspecto, bordes, luz reflejado o transmitida y consistencia.

Tabla 6. Características macroscópicas de las 25 cepas de Actinomicetos aislados del aire.

CEPAS	CARACTERISTICAS
CAM1/41	Coloración blanca, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes enteros, brillante, consistencia butirosa.
CAM2/61	Coloración blanca, forma irregular, elevación plana, superficie rugosa, aspecto húmedo, bordes irregulares, mate, consistencia butirosa.
CZM1/4	Coloración beige, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto seco, bordes irregulares, mate, consistencia friable.
CZM1/39-2	Coloración beige, forma circular, elevación convexa, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes enteros, brillante, consistencia butirosa.
NM1/54	Coloración blanca, forma irregular, elevada, superficie rugosa, aspecto húmedo, bordes irregulares, mate, consistencia mucoide.
NT1/17	Coloración blanca, forma irregular, elevación umbonada, superficie rugosa, aspecto seco, bordes irregulares, mate, consistencia butirosa.
NT1/24	Coloración beige, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes irregulares, brillante, consistencia butirosa.
NT1/41	Coloración blanca, forma circular, elevación plana, superficie rugosa, aspecto húmedo, bordes enteros, mate, consistencia mucoide.
NT1/63	Coloración beige, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes enteros, consistencia butirosa.
NT1/65	Coloración beige, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes irregulares, brillante, consistencia butirosa.
NT1/67	Coloración beige, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes enteros, brillante, consistencia butirosa.
NT1/72	Coloración blanca, forma circular, elevada, superficie rugosa, aspecto húmedo, bordes enteros, mate, consistencia mucoide.
NT1/78	Coloración blanca, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes enteros, brillante, consistencia butirosa.
NT1/79	Coloración beige, forma irregular, elevada, superficie rugosa, aspecto húmedo, bordes enteros, brillante, consistencia mucoide.
NT1/94	Coloración beige, forma irregulares, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes enteros, brillante, consistencia butirosa.
NT1/95	Coloración blanca, forma irregular, elevación umbonada, superficie rugosa, aspecto seco, bordes irregulares, mate, consistencia friable.
NT1/96	Coloración blanca, forma irregular, elevación plana, superficie rugosa, aspecto húmedo, bordes enteros, brillante, consistencia mucoide.
OM1/6	Coloración beige, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes irregulares, brillante, consistencia butirosa.
PT1/1	Coloración beige, forma irregular, elevación plana, superficie rugosa, aspecto seco, bordes irregulares, brillante, consistencia butirosa.
PT1/2	Coloración blanca, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes irregulares, brillante, consistencia butirosa.
SM1/31	Coloración beige, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes irregulares, brillante, consistencia butirosa.
SM2/32	Coloración blanca, forma irregular, elevación plana, superficie rugosa, aspecto seco, bordes irregulares, mate, consistencia butirosa.
SM2/43	Coloración beige, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes irregulares, brillante, consistencia butirosa.
SM5/25	Coloración beige, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes enteros, brillante, consistencia butirosa.
ST3/2	Coloración beige, forma irregular, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, bordes irregulares, brillante, consistencia butirosa.

CA: centro zona A, CZ: centro zona B, N: norte, O: oriente, P: poniente, S: sur, T: tarde, M: mañana.

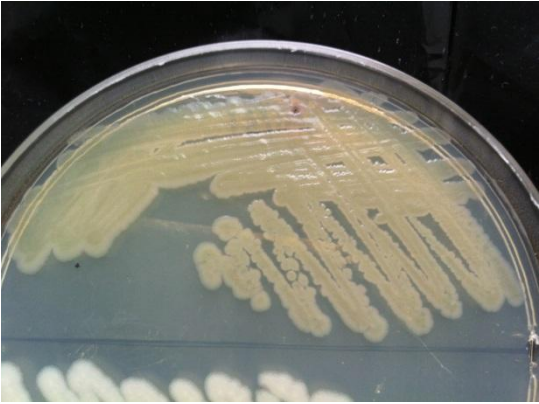
Nota.- Los números indican el número de muestreo y el número de cepa aislada.



NT1/79



OM1/6



SM1/31



PT1/2

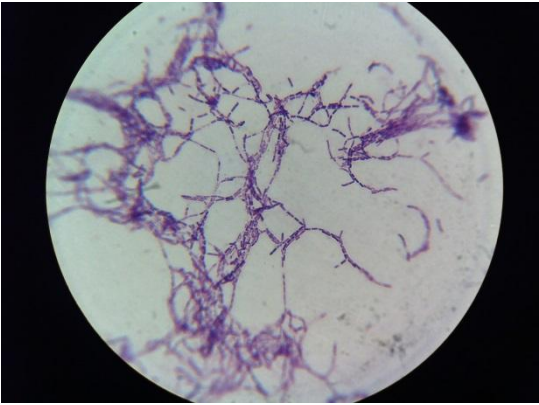


CZM1/39-2



CAM1/41

Figura 3. Cultivos en placa de cepas de Actinomicetos aislados del aire de la zona urbana de la Ciudad de Puebla.



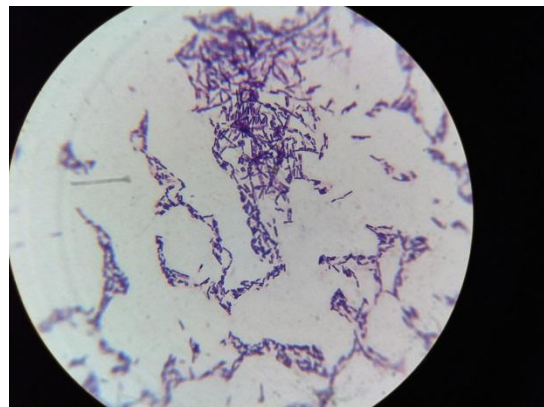
NT1/78



NT1/65



NT1/41



NT1/24

Figura 4. Tinción de Gram de cepas de Actinomicetos aislados del aire de la zona urbana de la Ciudad de Puebla,

10.2. MICROCULTIVOS

Para realizar la identificación de las especies bacterianas de Actinomicetos se realizó la prueba de microcultivos la cual brinda la posibilidad de observar estructuras características de cada especie de actinomiceto (Holt, y col., 1994).

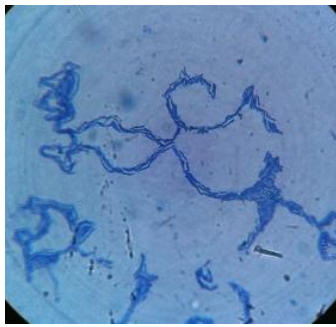
Los Actinomicetos son bacterias que presentan ciertas estructuras que permiten su identificación como es el caso de ser grampositivas, crecen en forma de filamentos delgados los cuales pueden ser estructuras vegetativas o reproductoras que llegan a fragmentarse dando como resultado esporas (Dworking, 2006).

En el Manual Taxonómico de Bergey existe una clasificación que permite la identificación de los diferentes géneros de Actinomicetos de acuerdo a la forma en que realizan su septación, la presencia y la disposición de su micelio vegetativo, y la forma de su micelio aéreo (Holt, y col., 1994):

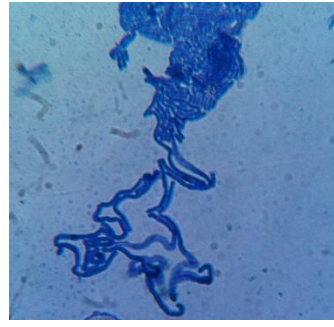
Los resultados obtenidos en los microcultivos se presenta en la tabla 7, comparados con los esquemas presentados en Bergey's Manual of Determinative Bacteriology para su identificación.

Tabla 7. Características microscópicas de los Actinomicetos y sus géneros observados a partir de los microcultivos.

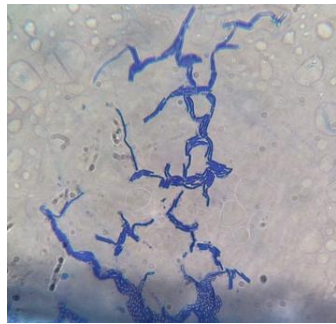
Saccharopolyspora



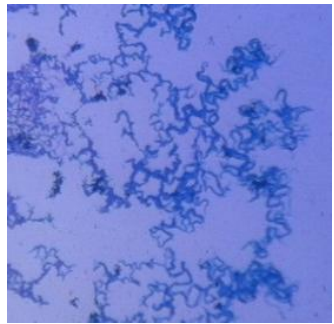
CAM1/41



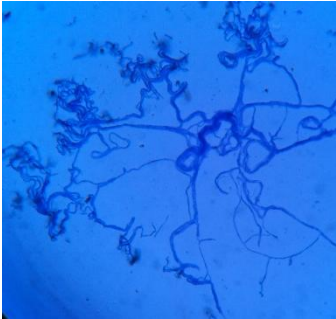
CZM1/39-2



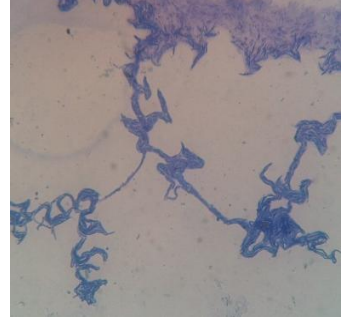
NT1/41



NT1/72

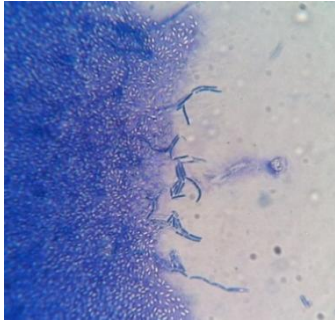


NT1/78

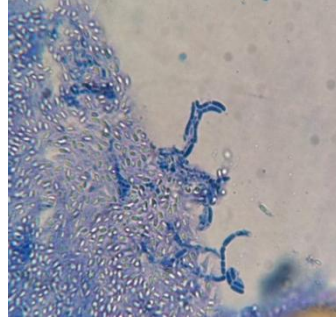


NT1/95

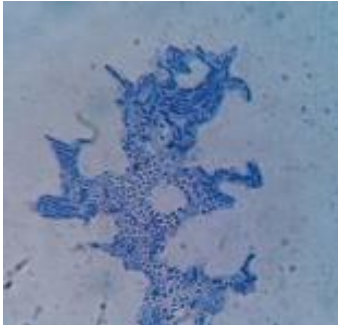
Nocardiodes



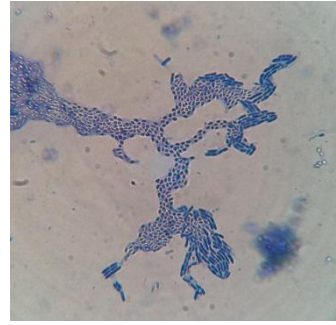
NT1/63



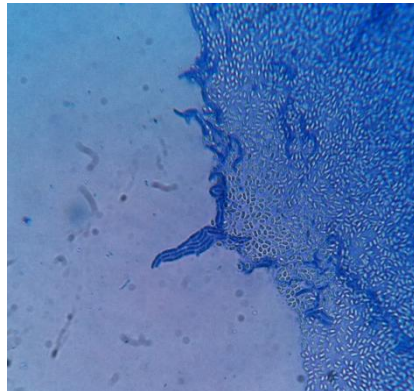
NT1/94



NT1/96

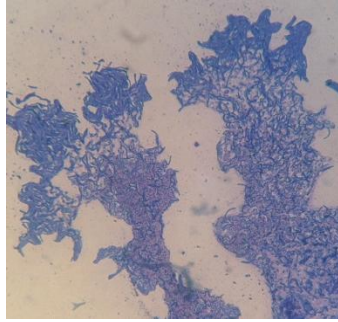


SM5/25

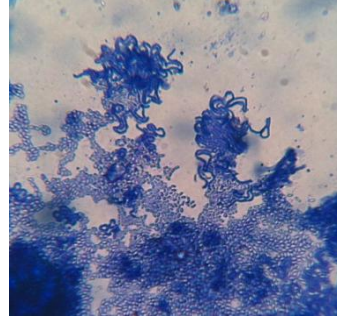


SM1/31

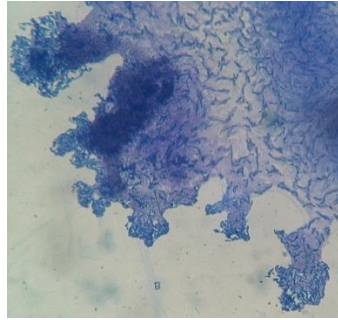
Actinosynnema



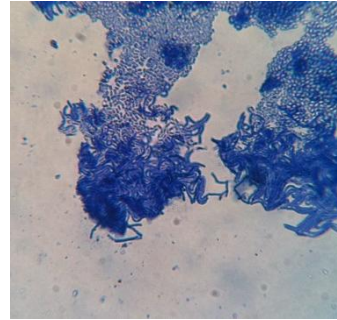
CAM2/61



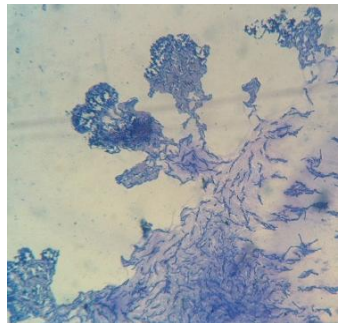
CZM1/4



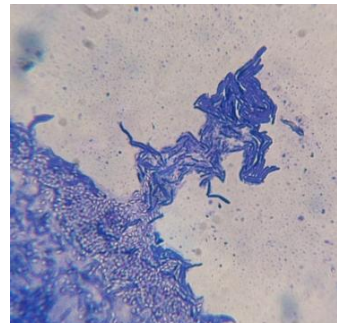
NT1/24



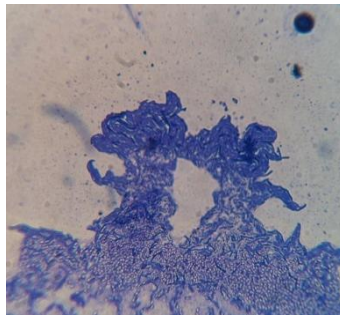
NT1/65



NT1/67

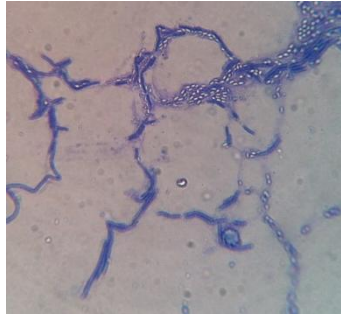


PT1/2

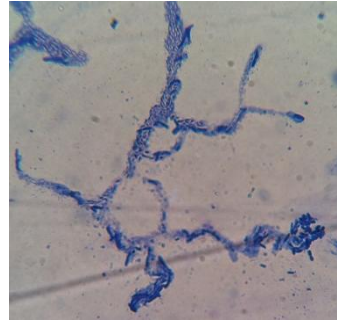


ST3/2

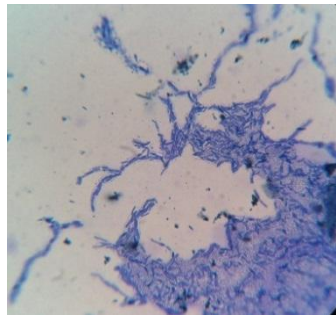
Nocardia



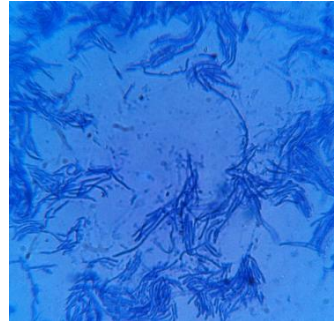
NT1/17



NM1/54

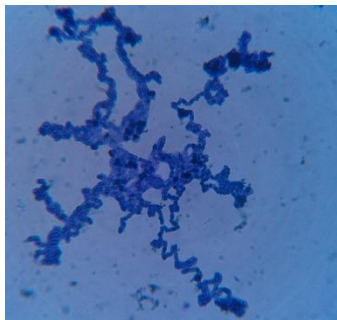


NT1/79



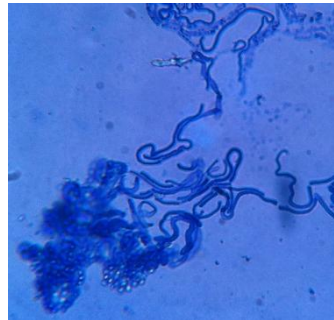
SM2/32

Nocardiopsis



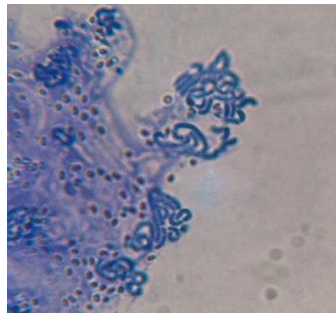
PT1/1

Micromonospora



SM2/43

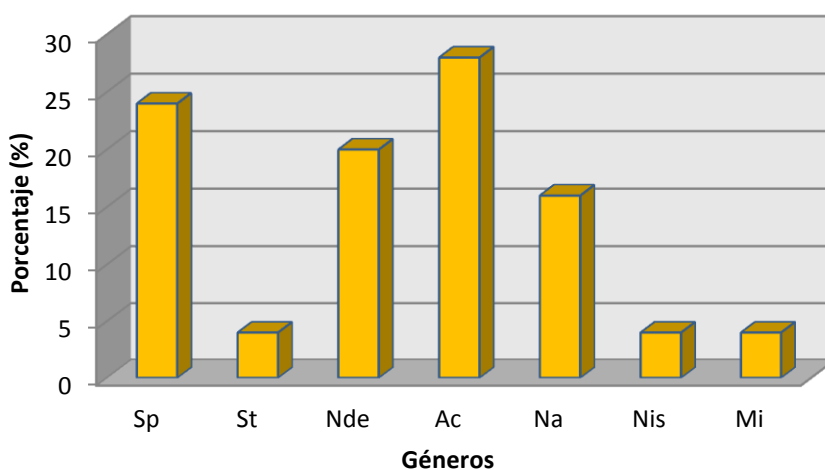
Streptomyces



0M1/6

A partir de los microcultivos realizados a las 25 cepas de Actinomicetos identificadas, se observaron microscópicamente sus estructuras miceliales y se compararon con las estructuras referenciadas para cada género de Actinomiceto en el Manual Taxonómico de Bergey, evidenciándose siete géneros probables; una cepa del género *Streptomyces*, *Nocardiosis* y *Micronospora* respectivamente; 4 cepas del género *Nocardia*; 5 cepas del género *Nocardiodes*; 6 cepas del género *Saccharopolyspora* y 7 cepas del género *Actinosynnema* (Gráfico 2)

Gráfico 2. Géneros de Actinomicetos aislados en la ciudad de Puebla. Seis cepas (24%) de *Saccharopolyspora* (Sp), una cepa (4%) de *Streptomyces* (St); cinco cepas (20%) de *Nocardiodes* (Nde), siete cepas (28%) de *Actinosynnema* (Ac); cuatro cepas (16%) de *Nocardia* (Na); una cepa (4%) de *Nocardiosis* (Nis) y una cepa (4%) de *Micromonospora* (Mi).



Dentro de los géneros identificados para el caso de la zona norte de la Ciudad, se encontraron *Nocardiodes*, *Actinosynnema*, *Nocardia* y en mayor proporción *Saccharopolyspora*, en la zona sur *Nocardia*, *Actinosynnema*, *Micromonospora* y *Nocardiodes* en la zonas centro los géneros *Saccharopolyspora* y *Actinosynnema*, para la zona oriente el género *Streptomyces* y para la zona poniente *Actinosynnema* y *Nocardiosis*.

Dadas las circunstancias algunos de los géneros mencionados pueden provocar afecciones, tal es el caso de *Saccharopolyspora*, las esporas de algunas cepas pueden provocar graves casos de alveolitis alérgica en individuos sensibilizados. *Streptomyces*, algunas especies son patógenas para los animales y los seres humanos; otros son fitopatógenos. *Nocardia*, algunas

cepas son patógenas oportunistas para los seres humanos y los animales; que incluyen agentes de actinomicetoma y nocardiosis. *Nocardiosis*, cepas se han recuperado del material clínico de origen animal y humano (Holt, y col., 1994) lo cual podría generar una situación de riesgo para las personas que frecuentemente circulan o se ubican en las zonas donde se presentan estos géneros. Por otra parte los Actinomicetos ya mencionados aportan propiedades benéficas muy particulares de cada género. *Saccharopolyspora* entre otras cosas se encuentra reportado como productor del antibiótico eritromicina A (Cortez *et al.*, 1990). El género *Streptomyces* ha sido estudiado por su propiedad para sintetizar un antiparasitario llamado Ivermectina (MacNeil, y col., 1992), y la síntesis de Ácido Clavulámico el cual es un inhibidor de β -lactamasas (Reading & Cole, 1977). El género *Nocardioides* y *Actinosynnema* importantes por generar un antibiótico antitumoral llamado Sandramicina (Matson & Bush, 1989; Yu, y col., 2002). Para el caso de *Nocardia* este también puede producir Sandramicina, además de existir registros de que esta bacteria genera una superóxido dismutasa, una defensa antioxidante (Higashide, y col., 1977; Beaman y col., 1983). *Nocardiosis* a sido estudiado por su capacidad de producir un biofloculante, un biopolímero el cual podría ser empleado para la remoción de partículas coloidales en solución (Mabrouk, 2014). También se reportan antraquinonas con propiedades antitumorales las cuales provienen de especies del género *Micromonospora* (Igarashi, y col., 2007).

10.3. PRUEBAS BIOQUÍMICAS.

Las cepas identificadas como Actinomicetos se evaluaron en base a su actividad bioquímica y metabólica para la confirmación del género.

Las pruebas bioquímicas realizadas para la identificación de género, fueron: Catalasa, Oxidasa, Hidrólisis de la Urea y Gelatina, Prueba de Citrato y fermentación de Lactosa. Los resultados obtenidos para cada cepa fueron comparados con los obtenidos de las cepas utilizadas como referencia y a su vez con lo reportado para los diferentes géneros de Actinomicetos en Bergey's Manual of Determinative Bacteriology (Holt, y col., 1994) (tabla 8).

Tabla 8. Resultados de pruebas bioquímicas practicadas a las cepas de Actinomicetos.

CEPA	CATALASA	OXIDASA	HIDROLISIS DE LA GELATINA	FERMENTACION DE LACTOSA	CITRATO	HIDROLISIS DE UREA	CRECIMIENTO EN ANAEROBIOSIS
CAM1/41	+	+	+	+	-	+	+
CAM2/61	+	+	+	+	+	+	+
CZM1/4	+	+	+	-	+	+	+
CZM1/39-2	+	+	+	+	+	+	+
NM1/54	+	+	+	-	+	+	+
NT1/17	+	+	+	-	+	+	+
NT1/24	+	+	+	+	+	+	+
NT1/41	+	+	+	+	+	+	+
NT1/63	+	+	+	+	+	+	+
NT1/65	+	+	+	+	+	+	+
NT1/67	+	+	+	+	+	+	+
NT1/72	+	+	+	+	+	+	+
NT1/78	+	+	+	+	+	+	+
NT1/79	+	+	+	-	+	+	+
NT1/94	+	+	+	+	+	+	+
NT1/95	+	+	+	+	+	+	+
NT1/96	+	+	+	+	+	+	+
OM1/6	+	+	-	-	-	+	+
PT1/1	+	+	-	-	+	+	+
PT1/2	+	+	+	+	+	-	+
SM1/31	+	+	+	+	+	+	+
SM2/32	+	+	+	+	-	+	+
SM2/43	+	+	-	-	+	+	+
SM5/25	+	+	+	+	+	+	+
ST3/2	+	+	+	+	+	+	+

10.4. MODELAMIENTO MATEMATICO

Para el modelamiento matemático se consideró a los Actinomicetos dentro de la carga bacteriana (UFC/m³), que es emitida a la atmósfera debido a las actividades antropogénicas reportadas por Rosas y col., 2004, para la zona urbana. Considerando los parámetros de dispersión (Temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, etc.) correspondientes a las características de la Ciudad de Puebla (Agencia de protección al Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2009).

Tabla 9. Fuentes naturales y antropogénicas que contribuyen a incrementar la concentración de bacterias a la atmósfera

Fuente	Concentración (UFC/m³)
NATURALES	
Costa	2 – 560
Bosques	385 - 1.2 x 10 ³
Pastizales	127 – 587
Matorral desértico	2 – 283
ANTROPOGÉNICAS	
Zona urbana	539 - 7.2 x 10 ³
Calles transitadas	100 - 13 x 10 ³
Parques	100 - 2.5 x 10 ³
Estación de transferencia de basura	350 - 14 x 10 ³
Planta recicladora de basura	1.1 x 10 ³ - 2.8 x 10 ⁷
Planta de composteo	1 x 10 ³ - 11 x 10 ⁶
Planta de tratamiento de aguas residuales	1 x 10 ² - 2 x 10 ⁵
Zona rural	202 - 3.4 x 10 ³
Campo agrícola	46 - 6.5 x 10 ³
Empacadora de algodón	3.3 x 10 ⁶ - 19 x 10 ⁶

Fuente: Rosas y col., 2004.

En general, un modelo de calidad del aire es una representación física o matemática del evento de contaminación atmosférica. Su objetivo es la predicción de la concentración de un contaminante en un punto dado en el ambiente aire, especialmente en la posición de un receptor de interés, empleando la información respecto a la emisión y al entorno (topografía y meteorología fundamentalmente). Los modelos Gaussianos son los que se utilizan más comúnmente para predecir la dispersión de estos contaminantes, principalmente aquellos que

ocurren de manera continua desde una fuente elevada o a nivel del suelo (Gallegos y col., 2012).

Para la evaluación de la calidad de aire utilizando modelos de dispersión, tanto en la Unión Europea (AireaAIRE, 2012) como en Estados Unidos (EPA, 2005), se han publicado guías para el diseño, ejecución y elaboración de resultados de estudios de dispersión de contaminantes en la atmósfera que contribuyan a mejorar la realización de dichas evaluaciones. En México, en 1990 se inició el Estudio Global de la Calidad del Aire (EGCA) que fue un proyecto interinstitucional e internacional propuesto y ejecutado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y el Laboratorio Nacional de los Álamos (LANL) de EUA. El EGCA determinó los mecanismos de dispersión más importantes de los principales contaminantes, así como los procesos químicos que ocurren en la atmósfera del Valle de México. En 1994 el IMP desarrolló el proyecto IMADA que se enfocó a la caracterización y modelación de las partículas en el Valle de México (SEMARNAT, 2000).

En el presente estudio se realizó una propuesta de Modelado Matemático de dispersión de contaminantes bióticos, para lo cual se consideró la concentración de los microorganismos generados a partir de fuentes continuas a nivel de suelo, como son las que se generan por el desplazamiento vehicular y en los parques y predios baldíos, donde no hay vegetación. Tal es el caso de las zonas cercanas a las áreas de muestreo que presentan, en la mayoría de los casos, alto flujo vehicular y zonas deforestadas, que favorecen la elevación de partículas contaminantes a la atmósfera; aunado a los factores meteorológicos como la velocidad del viento y la temperatura, entre otros.

La ecuación, utilizada en el presente trabajo, describe la concentración generada por una fuente puntual (por desplazamiento vehicular y por emisiones de parques y predios baldíos), que opera bajo condiciones fijas atmosféricas y de emisión; La ecuación considera que la pluma promedio de contaminación sigue un comportamiento Gaussiano, en el eje vertical respecto a la dirección del viento (figura 2), asumiendo que el contaminante no experimenta ninguna reacción química o ningún otro proceso de remoción, como la deposición seca o húmeda; por lo que la masa se conserva. También en la ecuación se consideró que la velocidad y dirección del viento promedio fueron constantes.

$$C_{x,0,0} = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z}$$

Dónde:

$C_{(x,0,0)}$; concentración promedio del contaminante en un punto dado.

Q ; es el caudal promedio de emisión (UFC/s).

u ; velocidad promedio del viento (m/s).

σ_y, σ_z ; son las desviaciones típicas de la distribución de contaminantes.

La concentración del contaminante en un punto dado ($C_{(x,0,0)}$), fue obtenida de los valores reportados por Rosas y col., 2004 (Tabla 9).

La estimación de los parámetros de dispersión de contaminantes lateral y vertical (σ_y y σ_z), se calcularon considerando la estabilidad atmosférica según las diferentes clases de estabilidad propuestas por Pasquill-Gifford-Turner (tabla 10). Considerando el gradiente vertical de temperatura de las capas del aire y la velocidad del viento, datos que se obtuvieron a partir de la estación meteorológica de Puebla (Agencia de protección al Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2009).

Tabla 10. Clases de estabilidad propuestas por Pasquill-Gifford-Turner en relación con el gradiente térmico.

Clase de estabilidad de Pasquill	Descripción	$\frac{\delta\theta}{\delta z} \left[\frac{^\circ\text{C}}{100\text{m}} \right]$
A	Extremadamente inestable	< -1.9
B	Inestable	-1.9 a -1.7
C	Ligeramente inestable	-1.7 a -1.5
D	Neutro	-1.5 a -0.5
E	Ligeramente estable	-0.5 a 4
F	Estable	>4

Fuente: Intituto Nacional de Ecología, 2004.

Sustituyendo valores en la ecuación, se realizaron los cálculos correspondientes, obteniendo como resultado los datos reportados en la tabla 11.

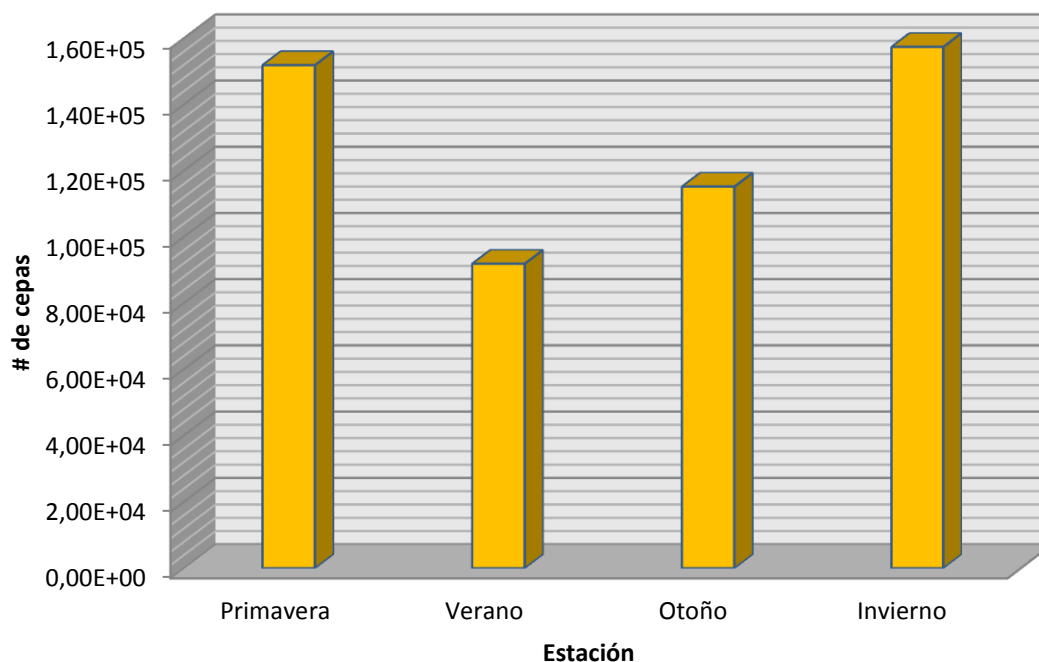
Tabla 11. Determinación del caudal de emisión (Q) (UFC/s^{-1}).

ESTACIÓN DEL AÑO	FUENTE DE ORIGEN	VALORES DEL CAUDAL DE EMISIÓN (Q) (UFC/s^{-1})					
		SUR	NORTE	ORIENTE	PONIENTE	CENTRO A	CENTRO B
PRIMAVERA	Calles Transitadas	2,07E+04	2,07E+04	2,43E+04	2,43E+04	2,07E+04	2,07E+04
	Parques	4,40E+05	5,14E+05	2,72E+05	4,43E+05	9,66E+03	1,21E+04
VERANO	FUENTE DE ORIGEN	SUR	NORTE	ORIENTE	PONIENTE	CENTRO A	CENTRO B
	Calles Transitadas	1,25E+04	1,25E+04	1,47E+04	1,47E+04	1,25E+04	1,25E+04
	Parques	2,66E+05	3,11E+05	1,64E+05	2,68E+05	5,84E+03	7,30E+03
OTOÑO	FUENTE DE ORIGEN	SUR	NORTE	ORIENTE	PONIENTE	CENTRO A	CENTRO B
	Calles Transitadas	1,57E+04	1,57E+04	1,85E+04	1,85E+04	1,57E+04	1,57E+04
	Parques	3,34E+05	3,90E+05	2,06E+05	3,36E+05	7,32E+03	9,15E+03
INVIERNO	FUENTE DE ORIGEN	SUR	NORTE	ORIENTE	PONIENTE	CENTRO A	CENTRO B
	Calles Transitadas	2,14E+04	2,14E+04	2,52E+04	2,52E+04	2,52E+04	2,52E+04
	Parques	4,56E+05	5,33E+05	2,82E+05	4,59E+05	1,00E+04	1,25E+04

En la tabla 11, se muestra el caudal de emisión de bacterias (Q), que probablemente se detectarían a una altura promedio de 1.75 m (área respirable) a cierta distancia desde la zona de emisión del contaminante en función de las condiciones atmosféricas, donde se observa que la cantidad de bacterias emitidas a partir de parques es mayor que la cantidad encontrada a partir de calles transitadas, esto podría deberse a que las áreas verdes de las zonas muestreadas se encuentran en condiciones muy secas y carentes de vegetación lo cual da como resultado que no existan elementos que promuevan la deposición de estas partículas en el suelo y la falta de humedad promovería la liberación de partículas con ayuda de los vientos (Rosas y col., 2004).

Los valores obtenidos de Q , se graficaron de acuerdo a las condiciones reportadas en las estaciones del año comprendidas entre el periodo de muestreo y representan el promedio del caudal de emisión por estación.

Gráfico 3. Promedio del caudal de emisiones (Q) en UFC/s⁻¹, a una altura promedio de 1.75 m en diferentes zonas de la Ciudad de Puebla.



De acuerdo a lo observado en este gráfico, el caudal de bacterias por segundo que se presentan en el área respirable, principalmente en las épocas de primavera e invierno son elevadas, probablemente debido a que las bacterias suspendidas en la atmósfera generalmente se encuentran asociadas a partículas, por lo que su concentración aumenta durante la época de secas, debido al transporte convectivo de las partículas provenientes de las superficies; ya que durante la época de lluvias la concentración de bacterias en el aire se ve disminuido debido al lavado de la atmósfera (Rosas y col., 2004).

Existen estudios que demuestran que las comunidades de actinomicetales se presentan en mayor abundancia en las estaciones más frías (Gandolfi, y col., 2015). Por lo que se puede suponer de acuerdo a los resultados, que dentro del incremento de bacterias en la atmósfera podemos encontrar también un mayor número de esporas de Actinomicetos.

La contaminación que se genera por la emisión de contaminantes en el área respirable repercute directamente sobre la población expuesta ya que existe evidencia de que los contaminantes atmosféricos son responsables de generar un aumento en la mortalidad general, de la mortalidad infantil, de la mortalidad de mayores de 65 años y de las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias y cardíacas (Diario Oficial de la Federación, 2014)

La cantidad de bacterias liberadas a la atmósfera a partir de focos de emisión, la distancia que se guarda a partir de estos y las condiciones meteorológicas atmosféricas son parámetros que van a condicionar la exposición a los contaminantes biológicos, tener conocimiento de la cantidad de bacterias a la que se es expuesto al estar en el ambiente externo cobra importancia ya que con esta información es posible tomar las precauciones necesaria si se forma parte de un grupo de individuos susceptibles a las afecciones estas partículas pudieran generar entre ellas los Actinomicetos, por otro lado se podrían hacer uso de las propiedades positivas de estos microorganismos para la obtención de compuestos de interés médico y biotecnológico, y en algún momento llegar a emplear los Actinomicetos como marcadores de la calidad del aire en las zonas urbanas.

La realización del modelado matemático y del estudio en general brindo información la cual ayuda a conocer la posible exposición que sufren los habitantes de la ciudad en los puntos de

muestreo, localizar focos que emiten una mayor cantidad de bioaerosoles en el área respirable, así como poner de manifiesto la presencia de Actinomicetos dentro de las bacterias que forman parte de estos bioaerosoles y presentar la posible repercusión de este género en la vida y actividades de la población. En términos generales, la medición fue útil para comprobar las hipótesis elaboradas para explicar la exposición a agentes biológicos.

11. CONCLUSIONES

1. Se identificaron 25 cepas de Actinomicetos en la zona urbana de la ciudad de Puebla.
2. Se identificaron siete géneros de Actinomicetos en la Ciudad de Puebla.
3. Se determinó que el caudal de emisiones de contaminantes bacterianos a la atmósfera fue mayor en los periodos de primavera/invierno.
4. La mayor concentración de cepas de Actinomicetos se aisló en la zona Norte de la ciudad de Puebla.

12. RECOMENDACIONES

1. Continuar realizando un monitoreo frecuente de la calidad ambiental de la zona urbana de la ciudad de Puebla utilizando los Actinomicetos como marcadores de la calidad del aire.
2. Realizar el modelamiento matemático de la zona urbana de la Ciudad de Puebla considerando las variaciones de la estabilidad atmosférica, ya que permitiría hacer extrapolaciones del comportamiento futuro de la emisión de contaminantes.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Diario Oficial de la Federación. (20 de Agosto de 2014). NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014
- Agencia de protección al Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2009). *Estaciones de monitoreo en el Municipio de Puebla*. Puebla: Sistema Municipal de Información Ambiental.
- AireAIRE. (2012). Guía de buenas prácticas Para la elaboración de Modelos de dispersión. España: ingurumena.net.
- Alghamdi, M. A., Shamy, M., Redal, M. A., Khoder, M., Awad, A. H., & Elserougy, S. (2014). Microorganisms associated particulate matter: A preliminary study. *Science of The Total Environment*, **479**(1), 109-116.
- Ariatti, A., & Comtois, P. (1993). Luis Pasteur: The first experimental microbiologist. *Aerobiología*, **9**(1), 5-14.
- Asan, A., Ilhan, S., Sen, B., Erkara, P. I., Filik, C., Cabuk, A., . . . Tokur, S. (2003). Airborne Fungi and Actinomycetes Concentrations in the Air of Eskisehir City (Turkey). *Indoor and Built Environment*, **13**(1), 63-74.
- Atlas, R. M., & Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Madrid: Pearson Educacion.
- Awad, A. H., & Gendy, S. A. (2013). Evaluation of airborne Actinomycetes at waste application facilities. *Atmospheric Pollution Research*, **5**(1), 1-7.
- Beaman, B. L., & Beaman, L. (1994). Nocardia Species: Host-Parasite Relationships. *Clinical Microbiology Reviews*, **7**(2), 213-164.
- Beaman, L. B., Scates, M. S., & Moring. (1983). Purification and properties of a unique superoxide dismutase from Nocardia asteroides. *The Journal of Biological Chemistry*, **258**(1), 91-96.
- Ben-Omar, N., Merroun, M. L., Penalyer, J. M., & Muñoz, G. M. (1997). Comparative heavy metal biosorption study of Brewery yeast and Myxococcus xanthus biomass. *Chemosphere*, **35**(10), 2217-2283.

- Bovallius, A., Butch, B., & Roffey, R. A. (1978). Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four locations in Sweden. *Applied and Environmental Microbiology*, **35**(5), 847-825.
- Bowers, R. M., McLetchie, S., Knight, R., & Fierer, N. (2011). Spatial variability in airborne bacterial communities across land-use types and their relationship to the bacterial communities of potential source environments. *The ISME Journal*, **5**(4), 601-612.
- Breza-Boruta, B., & Z. Paluszak, Z. (2007). Influence of Water Treatment Plant on Microbiological Composition of Air Bioaerosol. *Polish J. of Environ. Stud.*, **16**(5), 663-670.
- Burch, M., & Levetin, E. (2002). Effects of meteorological conditions on spore plumes. *Int. J. Biometeorol*, **46**(3), 107-117.
- Castañeda R., E. I., Morales P., M., Avelino F., F., Chávez B., E., Espinosa T., A., & Morales T., E. (2006). Cuantificación de bioaerosoles en las áreas de procesos de una industria zapatera poblana y su relación con la salud de los trabajadores. *Enfermedades infecciosas y Microbiología*, **26**(1), 1-8.
- Chen, X., Ran, P., Ho, K., Lu, W., Li, B., Gu, Z., . . . Wang, J. (2012). Concentrations and size Distributions of Airborne Microorganism in Guangzhou during Summer. *Aerosol and Air Quality Research*, **12**(1), 1336-1344.
- Cortez, J., Haydock, F. S., Roberts, A. G., Bevitt, J. D., & Leadlay, F. P. (1990). An unusually large multifunctional polypeptide in the erythromycin-producing polyketide synthase of *Saccharopolysporas erythraea*. *Nature*, **348**(6297), 176-178.
- Cox, C., & Whates, M. C. (1995). *Bioaerosols Handbook*. U.S.A.: Lewis Publishers.
- Dávila M., M. D., Gallegos M., G., Hernández C., F. D., Ochoa F., Y. M., & Olivas F., A. (2013). Actinomicetos antagónicos contra hongos fitopatógenos de importancia agrícola. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, **4**(8), 1187-1196.
- De la Rosa, M. A., & Ullán, C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Revista Observatorio Medioambiental*, **5**(1), 375-402.
- Deprés, V. R., Huffman, J. A., Burrows, S. B., Hoose, C., Safatov, A. S., Buryak, G., . . . Jaenicke, R. (2012). Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review. *Tellus B.*, **64**, 1-40.
- di Giorgio, C., Krempff, A., Guiraud, H., Binder, P., Tiret, C., & Dumenil, G. (1996). Atmospheric pollution by airborne microorganisms in the city of Marseilles. *Atmospheric Environment*, **30**(1), 155-160.

- Diario Oficial de la Federación. (28 de Enero de 1988). <http://www.metro.df.gob.mx/>.
Obtenido de
<http://www.metro.df.gob.mx/transparencia/imagenes/fr1/normaplicable/2014/1/lgeepa14012014.pdf>
- Douwes, J., Thorne, P., Pearce, N., & Heederik, D. (2003). Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *Annals of Occupational Hygiene*, 47(3), 187-200.
- Dworking, M. (2006). *The prokariotes*. New York: Springer.
- EPA, U. (2005). Revision to de guideline on air quality models: adoption of a preferred general purpose (Flat and complex terrain) dispersión model and other revision. *Federal Register*, 70(216), 68218-68261.
- Fang, Z., Ouyang, Z., Zheng, H., & Wang, X. (2008). Concentration and Size Distribution of Culturable Airborne Microorganisms in Outdoor Environments in Beijing, China. *Aerosol Science and Technology*, 42(5), 325-334.
- Forbes, B., Sahm F., D., & Weissfield. (2009). *Diagnóstico microbiológico*. Buenos Aires, Argentina: Médica Panamerica.
- Gallego, P. A., González, F. I., Sánchez, G. B., Fernández, H. P., Garcinuño, M. R., Bravo, Y. J., . . . Durand, A. J. (2012). *Contaminación atmosférica*. Madrid: UNED.
- Gallegos, M. E. (2010). *Inventario de emisiones de partículas y modelado de su transporte a partir de fuentes de área de una industria minera*. San Luis Potosí: Universidad Auntonoma de San Luis Potosí.
- Gama, F. M., & García, B. L. (2004). *Biología: Biogénesis y microorganismos*. México: Pearson educación.
- Gandolfi, L., Bertolini, V., Bestetti, G., Ambrosini, R., Innocente, E., Rampazzo, G., . . . Franzetti, A. (2015). Spatio-temporal variability of airborne bacterial communities and their correlation with particulate matter chemical composition across two urban areas. *Applied Microbiology and Biotechnology*.
- García, V. J., González, B. A., Casas, S. J., Rosas, R. A., & Orozco, G. M. (2006). Calidad bacteriológica del aire en el centro histórico de Guadalajara, Jalisco, México. *Instituto de medio ambiente y comunidades humanas*, 271-272.
- Gregory, P. H. (1973). *The microbiology of the atmosphere*. Aylesbury: BiblioBazaar.

- Grigorevski-Lima, A. L., Silva-Filho, R. G., Linhares, L. F., & Coelho, R. R. (2006). Occurrence of Actinomycetes in indoor air in Rio de Janeiro. *Building and Environment*, **41**(11), 1540-1543.
- Herr, C. E., Nieden, A. z., Jankofsky, M., I.Stilianakis, N., Boedeker, R. H., & Eikmann, T. F. (2003). Effects of bioaerosols polluted outdoor air on airways of residents: a cross sectional study. *Occupational and Environmental Medicine*, **60**(1), 336-342.
- Higashide, E., Asai, M., Oout, K. Y., Hasegawa, T., Kishi, T., Sugino, Y., & Yoneda, M. (1977). Ansamitocin, a group of novel maytansinoid antibiotics with antitumour properties from Nocardia. *Nature*, **270**(5639), 721-722.
- Holt, G. J., Sneath A., H. P., Staley, T. J., Brenner, J. D., Castenholz, W. R., Schleifer, K., . . . Williams, T. S. (1994). *Bergey's manual of determinative bacteriology*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Hýsek, J., Fisar, Z., Zizka, Z., Kofronova, O., & Binek, B. (1991). Airborne microorganism monitoring: A comparison of several methods, including a new direct counting technique. *Zentralblatt für Mikrobiologie*, **146**(6), 435-443.
- Igarashi, Y., Trujillo, E. M., Martinez-Molina, E., Yanase, S., Miyanaga, S., Obata, T., . . . Furumai, T. (2007). Antitumor anthraquinones from an endophytic actinomycete *Micromonospora lupini* sp. nov. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, **17**(13), 3702-3705.
- Inche, J. L. (2012). Transporte y dispersión de contaminantes del aire. Perú: Biblioteca Digital Andina.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). *Fuentes de contaminación*. México: Boletín Informativo. Obtenido de <http://www.inecc.gob.mx/>
- Intituto Nacional de Ecología. (2004). *Comparación de modelos de dispersión de emisiones provenientes de fuentes fijas*. Tuxpan: Dirección general de investigación sobre la contaminación urbana, regional y global.
- Koneman, E. W., Allen, D. S., Janda, W. M., & Schreckenberger, P. C. (2008). En *Diagnostico Microbiológico* (6 ed., págs. 817-835). Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Lacey, J. (1997). Actinomycetes in compost. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, **1**(4), 113-121.

- Li, Y., Qiu, X., Li, M., Ma, Z., Niu, T., & Feng, Y. (2012). Concentration and size distribution of airborne Actinomycetes in a Municipal Wastewater Treatment Plant. *Polish Journal of Environmental Studies*, **21**(5), 1305-1311.
- Lighthart, B., & Shaffer, B. T. (1995). Airborne bacteria in the atmospheric surface layer: temporal distribution above a grass seed field. *Applied Environment Microbiol*, **61**(4), 1492-1496.
- Mabrouk, M. E. (2014). Production of bioflocculant by the marine actinomycete *Nocardiopsis aegyptia* sp. nov. *Life Science Journal*, **11**(12), 27-35.
- MacNeil, J. D., Gewain, M. K., Ruby, L. C., Dezeny, G., Gibbons, H. P., & MacNeil, T. (1992). Analysis of *Streptomyces avermitilis* genes required for avermectin biosynthesis utilizing a novel integration vector. *Gene*, **111**(1), 61-68.
- Madigan, T. M., Martinko, M. J., Dunlap, V. P., & Clark, P. D. (2009). Brock. Biología de los microorganismos. Madrid, España: Pearson Educación.
- Malecka-Adamowicz, M., Donderski, W., & Dokladna, W. (2011). Microflora of air in the sewage treatment plant of Kapusciska in Bydgoszcz. *Polish Journal of Environmental Study*, **20**(5), 1235-1242.
- Matson, A. J., & Bush, A. J. (1989). Sandramycin, a novel antitumor antibiotic produced by a *Nocardioides* sp. Production, isolation, characterization and biological properties. *The Journal of Antibiotics*, **42**(12), 1763-1767.
- McKissich, M. M., Wolfe, L. G., Farrel, R. L., Greisemer, R. A., & Hellman, A. (1970). Aerosol transmission of oncogenic viruses. New York: Academic Press.
- Müller, G., & Raymond, K. N. (1984). Specificity and mechanism of ferrioxamine-mediated iron transport in *Streptomyces pilosus*. *Journal of Bacteriology*, **160**(1), 304-312.
- Oliveira, M., Ribeiro, H., & Abreu, I. (2005). Annual variation of fungal spores in atmosphere of Porto. *Annals of agricultural and environmental medicine*, **12**(2), 309-315.
- Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, J. L., & Abreu (a), I. (2009). The Effects of meteorological factors on airborne fungal spore concentration in two areas differing in urbanisation level. *International Journal of Biometeorology*, **53**(1), 61-73.
- Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, J. L., & Abreu (b), I. (2009). Seasonal and intradiurnal variation of allergic fungal spores in urban and rural areas of the North of Portugal. *Aerobiologia*, **25**(2), 85-98.
- OMS. (2006). Guías para la calidad del aire de la OMS. (CEPI/OPS, Ed.) *OMS*, 6-8.

- Parker, A. (1983). Contaminación del aire por la industria. Barcelona: Reverté.
- Reading, C., & Cole, M. (1977). Clavulanic Acid: a Beta-Lactamase-Inhibiting Beta-Lactam from *Streptomyces clavuligerus*. *American Society for Microbiology*, *11*(5), 852-857.
- Reboux, G., Piarroux, R., Mauny, F., Madroszyk, A., Millon, L., Bardoulet, K., & Dalphin, J. C. (2001). Role of molds in farmer's lung disease in Eastern France. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *163*(7), 1534-1539.
- Reponen, T. A., Gazono, S. V., Grinshpun, S. A., Willeke, K., & Cole, E. C. (1998). Characteristics of Airborne Actinomycete spore. *Applied & Environmental Microbiology*, *64*(10), 3807-3812.
- Reponen, T., Grinshpun, A., Conwell, K., Wiest, J., & Anderson, M. (2001). Aerodynamic versus physical size of spores: measurement and implication on respiratory deposition. *Grana*, *40*(3), 119-125.
- Rodríguez, C. E., Gamboa, C. M., Hernández, C. F., & García, H. J. (2005). Bacteriología general: Principios y prácticas de laboratorio. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Rosas, I., Cravioto, A., & Ezcurra, E. (2004). Microbiología Ambiental. En *Microbiología Ambiental* (págs. 15-20). México: Instituto Nacional de Ecología.
- Sánchez, L. L., & Corrales, R. L. (2005). Congelación bacteriana: Factores que intervienen en el proceso. *NOVA*, *3*(3), 109-113.
- Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Cayuela, M. L., & Stentiford, E. I. (2006). Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos. *Ingeniería*, *10*(1), 39-47.
- SEMARNAT (a), S. d. (2012). Programa de Gestión de Calidad del Aire 2012-2020 del Estado de Puebla. Puebla: Gobierno del Estado de Puebla.
- SEMARNAT (b), S. d. (2012). Atmósfera. Informe de la situación del medio ambiente en México. México: SINIARN.
- SEMARNAT. (2000). Gestión de la calidad del aire en México. México, D.F.: Instituto nacional de ecología Dirección general de gestión e información ambiental.
- Swan, M. R., Kelsey, A., Crook, B., & Gilbert, J. E. (2003). *Occupational and environmental exposure to bioaerosols from composts and potential health effects*. Norwich: HSE Books.
- Teltsch, B., & Katznelson, y. E. (1978). Airborne enteric bacteria and viruses from spray irrigation with waster. *Applied and Environmental Microbiology*, *35*(2), 290-296.

- Tokala, K. R., Strap, J. L., Jung, M., Crawford, D. L., Salove, H. M., Deobald, A. L., . . . Morra, M. J. (2002). Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving *Streptomyces lydicus* WYEC108 and the pea plant (*pisum sativum*). *Applied and Environmental Microbiology*, **68**(5), 2161-2171.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2007). *Introducción a la microbiología*. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Troutt, C., & Levetin, E. (2001). Correlation of Spring spore concentrations and meteorological conditions in Tulsa, Oklahoma. *International Journal Biometeorology*, **45**(2), 64-74.
- Yu, T., Bai, L., Clade, D., Hoffmann, D., Toelzer, S., Trinh, K., . . . Floss, H. (2002). The biosynthetic gene cluster of the maytansinoid antitumor agent ansamitocin from *Actinosynnema pretiosum*. *PNAS*, **99**(12), 7968-7973.

14. ANEXO



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS,
MICROBIOLOGÍA
FICHA DE MUESTRAS DE AIRE EN LA CIUDAD DE PUEBLA
CICLO _____



NÚMERO DE FICHA _____

- 1.- PERSONA (S) QUE TOMARON LA MUESTRA: _____

- 2.- FECHA: _____ HORA: _____
- 3.- LUGAR: _____

- 4.- TEMPERATURA PROMEDIO: _____ °C HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO (HR): _____ %
- 5.- VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO _____ Km/h DIRECCIÓN DEL VIENTO
PROMEDIO _____ RÁFAGAS DE VIENTO PROMEDIO _____ Km/h
- 6.- TIEMPO DE EXPOSICIÓN DE LA PLACA: _____

- 7.- PRECIPITACIÓN PLUVIAL DÍA ANTERIOR: SI _____ NO _____ mm
- 8.- OBSERVACIONES: _____

