



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS POLVOS
DEL DESIERTO DEL SAHARA EN LA MICROBIOTA
PRESENTE EN EL AIRE DE LA CIUDAD DE MÉRIDA,
YUCATÁN”**

TESIS

PRESENTADA POR:

I.Q.I. MARÍA ALEJANDRA FLORES HUERTA

EN OPCIÓN AL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA

OPCIÓN AMBIENTAL

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

2019

“Aunque este trabajo hubiere servido para EXAMEN DE GRADO y hubiere sido aprobado por el SÍNODO, solo su AUTOR es responsable de las doctrinas emitidas por él”

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la obtención de mis estudios de posgrado.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, por las facilidades otorgadas en la realización de este estudio.

RESUMEN

Una cantidad considerable de partículas son arrastradas por corrientes de aire desde lugares remotos, este es el caso de los polvos del desierto del Sahara que cada año son transportados a través del océano Atlántico y llegan al continente americano. Estos polvos están compuestos por diferentes materiales minerales y orgánicos. Una fracción importante de los componentes orgánicos son los bioaerosoles, bacterias y hongos, que actúan como contaminantes biológicos y tienen afectaciones a la salud de los seres vivos, y presentan diversos impactos ambientales.

Este estudio tiene relevancia en nuestro entorno debido a que la calidad del aire es un factor importante en la salud de la población. En años recientes se han incrementado las emisiones de bioaerosoles y la presencia y transporte de microorganismos patógenos en el ambiente, ambos productos de la contaminación atmosférica en todas partes del mundo y la ciencia ha dejado claro que un suceso ocurrido en otro país, incluso en otro continente, tiene el potencial de afectar su entorno y más allá.

Para llevar a cabo esta investigación se realizaron dos muestreos de aire en dos temporadas diferentes: el primero en presencia de los polvos del Sahara y el segundo en ausencia de los mismos. Las muestras se utilizaron para identificar microorganismos cultivables y no cultivables presentes en el aire y evaluar la relación existente entre la presencia de los polvos del Sahara y las variables fisicoquímicas y biológicas determinadas.

Se observó que los parámetros ambientales registrados durante los muestreos no muestran diferencias significativas con la presencia o ausencia de polvos del Sahara. De igual manera, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa para afirmar que los polvos del Sahara tienen una influencia en la microbiota presente en el aire de la ciudad, sin embargo, si se encontró evidencia para afirmar que durante los eventos de polvo hay mayor concentración de material particulado en el aire, que podemos sugerir que en su mayoría es de contenido inorgánico.

ABSTRACT

A large number of particles are dragged by air from remote places, this is the case of the dust of the Sahara Desert that each year is transported across the Atlantic Ocean and reaches the American continent. The Saharan dust is composed of mineral and organic materials. An important fraction of the organic components are bioaerosol, bacteria and fungi, which act as biological pollutants and have effects on the health of humans, and produce diverse environmental impacts.

This study has relevance in our environment due to the importance of air quality for the health of population. In recent years, emissions of bioaerosol and the presence and transport of pathogenic microorganisms in the environment have increased, both products of air pollution in all parts of the world, and science has made it clear that an event occurred in another country, even in another continent, has the potential to affect its environment and beyond. For this reason, the objective of this work is to study the influence of the arrival of dust from the Sahara to Mérida, Yucatán, in the microbiota present in the air.

To carry out this research, two air samples were taken in two different seasons: the first in the presence of Saharan dust and the second in the absence of Saharan dust. The samples were used to identify cultivable and non-cultivable microorganisms present in the air and to evaluate the relationship between the presence of Saharan dust and the meteorological parameters.

As results, the environmental parameters measured during the sampling do not show significant differences with the presence or absence of Saharan dust. In addition, no statistically significant difference was found to affirm that Saharan dusts have an influence on the microbiota present in the air, however, evidence was found to affirm that during dust events there is more concentration of particulate matter in the air, which we can suggest is mostly inorganic content.

INDICE

INDICE	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Polvos del Sahara	3
2.1.1 Composición y características	4
2.1.2 Factores ambientales que los promueven	4
2.1.3 Importancia para la salud humana	5
2.1.4 Importancia ambiental	6
2.1.5 Métodos de detección y análisis de dispersión y transporte	7
2.1.6 Influencia en el Caribe y Golfo de México	7
2.2 Bioaerosoles.....	8
2.2.1 Factores ambientales que los promueven	8
2.2.2 Importancia ambiental y en la salud	8
2.2.3 Métodos de muestreo y detección.....	9
2.2.4 Estudios en Yucatán	10
3. METODOLOGÍA	11
3.1 Ubicación de sitio de muestreo.....	11
3.2 Análisis de trayectorias	11
3.3 Determinación de parámetros fisicoquímicos	12

3.4	Muestreo de bioaertransportables	13
3.4.1	Medios de cultivo	14
3.5	Análisis de las muestras	15
3.5.1	Cuantificación.....	15
3.5.2	Identificación de microorganismos cultivables	15
3.5.3	Análisis de los datos.....	16
4.	RESULTADOS	17
4.1	Seguimiento de polvos del Sahara y definición de periodos de muestreo	17
4.2	Recopilación de información de variables meteorológicas, gases atmosféricos y material particulado.	19
4.3	Cuantificación de hongos y bacterias	21
4.4	Identificación de hongos y bacterias	26
4.4.1	Géneros de bacterias identificados.....	26
4.4.2	Géneros fúngicos identificados.....	29
4.5	Análisis estadístico.	31
4.5.1	Efecto de la presencia y ausencia de polvos en la concentración de hongos y bacterias.	32
4.5.2	Efecto de los parámetros meteorológicos en las UFC/m ³ totales de hongos y bacterias	32
4.5.3	Efecto del horario de muestreo en la concentración de hongos y bacterias	35
4.5.4	Efecto de la presencia/ausencia de polvos en la concentración de material particulado.	36
5.	CONCLUSIONES	37
6.	RECOMENDACIONES	39
	REFERENCIAS	40
	ANEXOS	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos para monitoreo de parámetros fisicoquímicos.	13
Tabla 2. Comparación de variables meteorológicas muestreo 1 y 2.	20
Tabla 3. Comparación de gases atmosféricos y PM muestreo 1 y 2.....	21
Tabla 4. Cuantificación de bacterias totales y respirables de los muestreos 1 y 2....	22
Tabla 5. Cuantificación de hongos durante los muestreos 1 y 2.	23
Tabla 6. Comparación de estudios cuantitativos de microbiota del aire.....	25
Tabla 7. Pruebas oxidasa y catalasa.....	26
Tabla 8. Clasificación por microscopía de bacterias.	26
Tabla 9. Comparación de estudios. Bacterias.	28
Tabla 10. Géneros fúngicos identificados por microscopía y su % de aparición.	30
Tabla 11. Comparación de estudios, hongos.	31
Tabla 12. Coeficiente de correlación entre concentración de hongos y bacterias con parámetros meteorológicos, ozono y materias particulado. (p=0.05).....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Movimiento de los polvos del Sahara sobre el Océano Atlántico (Carlowicz 2013).....	3
Figura 2. Diagrama metodológico	11
Figura 3. Sistema Andersen de dos etapas y relación del tamaño de partícula con la captación en el sistema respiratorio.....	13
Figura 4. Nube de polvos del Sahara, julio 2018.....	14
Figura 5. CAMS 28 de junio de 2018 12:00	17
Figura 6. Trayectoria de retroceso 28 de junio de 2018 12:00.....	18
Figura 7. Comparación de medianas: Concentración de fracción entera y fracción respirable de bacterias del muestreo 1 y 2 según el horario.....	23
Figura 8. Comparación de medianas: Concentración de fracción entera y fracción respirable de hongos del muestreo 1 y 2 según el horario.....	24
Figura 9. Gráfica de caja de bacterias y hongos totales del muestreo 1 y 2.	32
Figura 10. Gráfica de dispersión de bacterias vs. parámetros.	34
Figura 11. Gráfica de dispersión de hongos vs. parámetros.....	34
Figura 12. Gráfica de caja de bacterias y hongos totales en muestreos 1 y 2 por horario.	35
Figura 13. Gráfica de caja de PM _{2.5} y PM ₁₀ en muestreos 1 y 2.	36

1. INTRODUCCIÓN

Los polvos del Sahara son un conjunto de partículas que son recogidas por acción del viento de los desiertos de África y transportadas a través del océano Atlántico cada año. Contienen componentes minerales y orgánicos como bacterias, esporas de hongos, semillas y polen, entre otros. La NASA en 2015 afirmó que en promedio se arrastran 182 millones de toneladas de polvo cada año, las cuales recorren 2,500 km a través del océano Atlántico, llegando al mar Caribe cerca de 43 millones de toneladas (Carlowicz y Gray 2015).

De acuerdo a Carlowicz (2013) estos polvos juegan un rol importante en la supresión de huracanes, ayudan a construir playas en el Caribe y en la fertilización de suelos en la selva amazónica, sin embargo, también se han identificado afectaciones a la calidad del aire en el norte de América y en Sudamérica y efectos en la disminución de las barreras de coral. A pesar de que se sabe que cada año son transportadas varias toneladas de polvos a través del océano Atlántico, aún se sabe relativamente muy poco acerca de sus efectos en la productividad de mares, en el clima y en la salud humana.

Dentro de las interrogantes básicas que se tienen ante este fenómeno están: ¿cuánto polvo es transportado hasta la península de Yucatán? y ¿cuál es la relación entre la cantidad de polvos transportados y la calidad microbiológica del aire?

Esta investigación pretende estudiar la influencia de los polvos del desierto del Sahara en la diversidad microbiológica de la atmósfera de la ciudad de Mérida, realizando estudios de aerotransportables en temporada de polvos del Sahara y en temporada regular, comparando de igual manera organismos cultivables y no cultivables. Este estudio está realizado mediante el análisis de datos de estaciones meteorológicas y complementando con simulaciones de corrientes de polvos del Sahara en la península de Yucatán, que permiten el análisis de trayectorias de masas de aire.

Objetivo general

Evaluar la influencia de los polvos provenientes del desierto del Sahara en la microbiota presente en el aire de la ciudad de Mérida, Yucatán.

Objetivos específicos

Definir el periodo de llegada de los polvos del Sahara a la península de Yucatán mediante estudios climáticos, análisis de trayectorias de retroceso y modelos de transporte y dispersión atmosférica.

Establecer dos periodos de muestreo en presencia y ausencia de los polvos provenientes del Sahara.

Recopilar información sobre las variables meteorológicas (temperatura, humedad, radiación solar, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento), gases atmosféricos criterio (O_3 , NO_2 , NO , SO_2 y CO) y material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en los periodos de muestreo establecidos.

Identificar y cuantificar en los periodos establecidos la microbiota presente en el aire mediante dos métodos, fenotípico y molecular.

Determinar la relación existente entre la presencia de los polvos del Sahara y las variables fisicoquímicas y biológicas determinadas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Polvos del Sahara

Se conoce como polvos del Sahara al conjunto de partículas recogidas por acción del viento de las zonas desérticas de África (en su mayoría de la región Sahara-Sahel) y que son transportadas a través de miles de kilómetros hacia Europa, Asia y América. Este conjunto de partículas está formado por microorganismos, compuestos minerales y orgánicos (como semillas y polen) con tamaños de partícula con un amplio intervalo, que incluyen a partículas de la fracción respirable, menores a 10 micrómetros.

El Sahara es la fuente más grande del mundo de polvo del desierto. Goudie y Middleton (2001) mencionan estimaciones anuales de entre 400 y 700 mil toneladas métricas de emisiones de polvo a la atmósfera (Figura 1). Los vientos que arrastran y transportan este polvo son característicos de los climas locales y tienen un gran número de nombres según la localidad de donde provienen. Los vientos que traen los polvos hacia América son conocidos como vientos alisios.

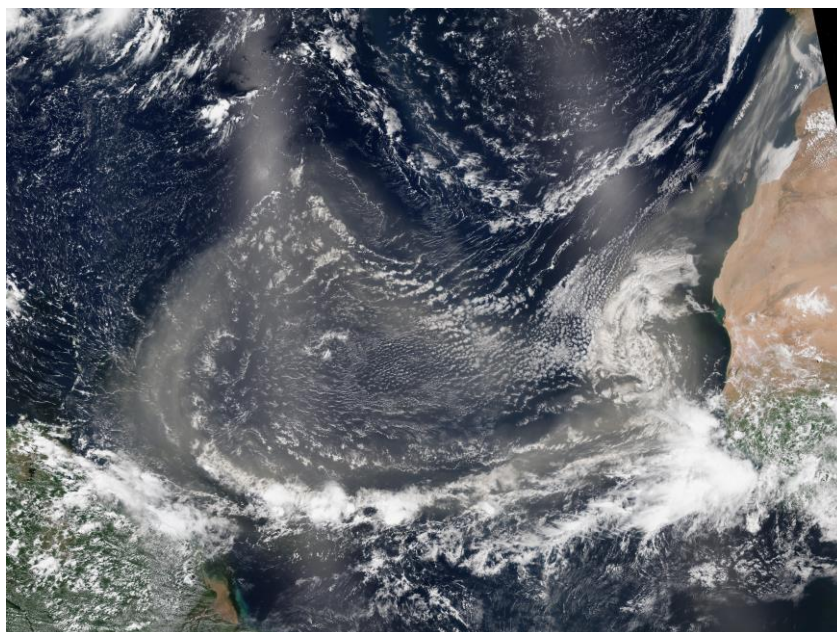


Figura 1. Movimiento de los polvos del Sahara sobre el Océano Atlántico (Carlowicz 2013).

2.1.1 Composición y características

En diferentes estudios se han encontrado diversos tipos de partículas contenidas en los polvos tales como microorganismos, materiales orgánicos y minerales, entre otros. Gonçalves *et al.* (2014) concluyen después de un estudio para la caracterización orgánica de los polvos del Sahara en el noroeste de África, que el contenido de PM₁₀ carbonoso hallado es muy bajo y que la mayor parte de la masa del aerosol es de origen mineral. De la composición promedio de las partículas se estima que de 3 a 5% es hierro y actúa como recubrimiento, lo que le da el tono rojizo a las manchas de polvo que se aprecian desde los satélites (Prospero 2001). También se ha demostrado que el polvo sahariano contiene grandes cantidades de factores biogénicos, como bacterias y esporas de hongos, lo que proporciona una posibilidad futura para desencadenar efectos sobre la salud (Perez *et al.* 2008).

Por otro lado, Talbot *et al.* (1986), determinaron el porcentaje de varias especies químicas nutritivas provenientes de África, encontradas en el Atlántico tropical durante un evento de transporte de polvos del desierto ocurrido en el verano. Hallaron nutrientes en forma de compuestos inorgánicos de nitrógeno, azufre y de fósforo solubles, como NO₃⁻, SO₄²⁻ y PO₄³⁻, en el interior de una masa de aire de polvo proveniente del Sahara, esto sin contar las altas cantidades de fósforo que posee, consecuencia de la gran cantidad de yacimientos de fósforo presente en el norte de África.

2.1.2 Factores ambientales que los promueven

Uno de los factores que interviene en la cantidad transportada de polvos del desierto es la precipitación, tanto en el lugar donde se originan los polvos como en el lugar donde se depositan. Prospero (2001) encontró que hay una fuerte correlación entre las concentraciones de polvo encontradas en Barbados con los déficits de lluvia en la región Sahara-Sahel, teniendo valores máximos en verano. También se encontró que los años en los que hubo más transporte de polvos en la región fue durante el evento meteorológico del Niño, el cual produjo sequías intensas en África (Prospero 2006).

Lenes (2012) desarrolló un modelo de deposición de los polvos del Sahara en el este del Golfo de México, encontrando que la deposición húmeda es mayor que la seca, y corroborando también que en verano se da la mayor entrada de polvo.

2.1.3 Importancia para la salud humana

Dos aspectos son de interés para estudiar la influencia de los polvos del desierto en la salud humana: el tamaño de partícula y el tipo de partícula que se transporta. Existe un creciente interés en la identificación y caracterización del polvo y los aerosoles contenidos (alérgenos, material biológico, esporas de bacterias y/o hongos, metales, toxinas, entre otros) para determinar las afectaciones a la salud humana siendo muchas de estas partículas inferiores a los 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) por lo que son fácilmente respirables y alojadas en los pulmones.

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) las partículas $PM_{2.5}$ se asocian con efectos adversos para la salud, tales como enfermedades respiratorias y cardiopulmonares. En las áreas urbanas estas partículas se generan principalmente por procesos de combustión y emisiones relacionadas con el tránsito. Existen evidencias (Poleo y Briceño 2014) de que las partículas gruesas PM_{10} a $PM_{2.5}$ (partículas de tamaño entre 10 y 2.5 micras de diámetro aerodinámico) también pueden jugar un papel en la generación de efectos adversos para la salud, aunque estos efectos pueden depender de fuentes y composición específicas.

La cubierta de polvo sahariana, a menudo incluye una gran proporción de estas partículas PM_{10} - $PM_{2.5}$. Kabatas *et al.* (2014) encontraron que el polvo es el principal componente de la concentración total de PM_{10} en Turquía (96.6%) y sugiere una contribución significativa del polvo del Sahara a este porcentaje con variaciones estacionales.

Otros aspectos importantes a considerar son la composición del polvo y los efectos nocivos que puedan tener en la salud. Se conoce que el hierro contenido como recubrimiento de las partículas de polvo puede generar una respuesta inflamatoria y liberarse dentro de los pulmones una vez que las partículas se hayan depositado en el

tejido pulmonar (Prospero 2001), así como la existencia de concentraciones sustanciales de bacterias y hongos viables con potencial patógeno en asociación con el polvo africano (Prospero *et al.* 2005).

2.1.4 Importancia ambiental

Una consecuencia ambiental de las cargas de polvo atmosférico es la modificación del clima a través de una gama de posibles influencias y mecanismos. Siendo que el transporte de polvos se da en forma de una nube que es observada desde el espacio, interesa el efecto de los cambios en las condiciones físicas que provoca a su paso y los efectos de los componentes que son depositados en su trayectoria (Goudie y Middleton 2001).

Dentro de las afectaciones al clima que pueden tener los polvos del desierto africano se encuentran la modificación de la temperatura del aire a través de la absorción y dispersión de la radiación solar por la nube de polvo, la cual por deposición del mismo también modifica ecosistemas al adicionar cantidades considerables de nutrientes (hierro, fósforo, nitrógeno, entre otros) en las aguas superficiales oceánicas y en el lecho marino, particularmente en el Atlántico Norte (Goudie y Middleton 2001).

Lenes *et al.* (2008) encontraron mediante modelos físicos y ecológicos que la deposición húmeda del hierro contenido en los polvos transportados desde el Sahara hasta la costa este de Florida estimularon la fijación del nitrógeno lo suficiente como para inicializar la marea roja (*Karenia brevis*) en octubre de 1999.

La deposición de nutrientes en el océano y su influencia en la dinámica del ecosistema y en los ciclos biogeoquímicos no siempre es beneficiosa. En algunos casos puede desencadenar la aparición de algas o microalgas nocivas para los ecosistemas o en el caso de los arrecifes de coral, acostumbrados a ciertos niveles de nutrientes, puede estresar el ecosistema y llevarlo a su debilitamiento (Griffin y Kellogg 2004).

2.1.5 Métodos de detección y análisis de dispersión y transporte

Existen diferentes métodos para seguir las masas de polvo provenientes de África. Poleo y Briceño (2014) enuncian que los más importantes son los satelitales, los cuales utilizan una serie de algoritmos para diferenciar masas de polvo a partir del espesor óptico de los aerosoles. Entre los más importantes para medir el espesor óptico de los aerosoles se encuentran: TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y la red AERONET (Aerosol Robotic Network, por sus siglas en inglés) (Poleo y Briceño 2014).

2.1.6 Influencia en el Caribe y Golfo de México

Desde que se observó en imágenes satelitales que los polvos del Sahara-Sahel eran arrastrados hasta el continente americano, se han realizado estudios de seguimiento e investigación acerca de la composición de estos polvos y su influencia en el clima y la salud humana en la región. Uno de los trabajos de investigación más extenso se ha realizado por la Universidad de Miami desde 1965 en colaboración con diversos investigadores para realizar estudios de trayectorias, de cantidades y caracterizaciones de partículas y la influencia de los polvos del Sahara-Sahel en la región de Barbados (Prospero y Mayol-Bracero 2013).

Poleo y Briceño (2014) estudiaron la influencia de los polvos del Sahara en la región de Centroamérica y el Caribe y encontraron que la capa límite atmosférica de la región era modificada en sus características físicas tales como contenido de agua, humedad, temperatura, nubosidad y refractividad a una distancia entre 1 y 4 km desde la superficie de la tierra, encontrado un aumento en la concentración de partículas PM₁₀ durante los días del episodio de los polvos del Sahara respecto a los niveles observados en temporada regular.

2.2 Bioaerosoles

Se le conoce como bioaerosoles a las partículas de origen biológico que se encuentran suspendidas en el aire. Este conjunto de partículas puede contener microorganismos como hongos, virus, bacterias y otras partículas orgánicas como semillas o polen. La mayoría de los microorganismos patógenos son vehiculados por agua, sin embargo, pueden ser dispersados y transportados grandes distancias por medio del aire, conservando sus características y resistiendo a las condiciones ambientales gracias a mecanismos propios del organismo, como la formación de esporas en el caso de los hongos o algunas bacterias (Agranovski, 2010).

2.2.1 Factores ambientales que los promueven

Los bioaerosoles son originados en todos tipos de ambientes, incluyendo ambientes terrestres como el suelo, desiertos y bosques; agricultura y otras actividades humanas, zonas urbanas, humedales, costas y ambientes marinos; y su dispersión en el aire es variable tanto espacial como temporalmente. Una vez en el ambiente, los bioaerosoles tienen la capacidad de sobrevivir y transportarse gracias a la combinación de factores ambientales como humedad, temperatura y exposición UV que permiten o no su sobrevivencia (Yoo *et al.* 2017).

2.2.2 Importancia ambiental y en la salud

En los seres humanos el principal daño que causan se traduce en enfermedades respiratorias como el asma o las alergias, en algunos tipos de infecciones y en la posibilidad de desarrollar cáncer y afecciones producidas al inhalar bioaerosoles conformados por mezclas de alérgenos, toxinas y otras partículas misceláneas (Ki-Hyun *et al.* 2017).

En el ambiente, tienen influencia en la química y física de la atmósfera y en el cambio climático, al unirse a partículas ambientales actuando como núcleos de condensación que pueden iniciar la precipitación. De igual manera, los bioaerosoles juegan un papel

fundamental en la dispersión y reproducción de polen y esporas de plantas y microbios (Fröhlich *et al.* 2016).

2.2.3 Métodos de muestreo y detección

En el estudio y seguimiento de la calidad del aire, se cuantifican rutinariamente los microorganismos transportados por medio de diferentes métodos y análisis. Es importante tener en consideración que, para detectar y cuantificar microorganismos viables, las partículas biológicas deben ser removidas eficientemente del aire y recolectadas en una forma que no afecte su viabilidad.

Las fases del muestreo de aerotransportables generalmente incluyen la aspiración del aire del entorno hacia la entrada de un dispositivo de medición, el transporte de la corriente de aire desde la entrada del dispositivo al área de colección y la colección del bioaerosol en un medio específico. Algunos parámetros a tener en cuenta para determinar el tiempo de muestreo son la concentración esperada de los bioaerosoles, el rango de cuantificación del aparato y el efecto del estrés en el muestreo de los microorganismos presentes (Agranovski 2010). Existen tres tipos de métodos de muestreo: filtración, impacto e impacto en líquidos.

El método de filtración utiliza un filtro membrana como medio para recolectar los bioaerosoles. Se utiliza principalmente para determinar el total de microorganismos independientemente de su supervivencia. La viabilidad de los microorganismos colectados en un filtro depende de la especie, el tiempo de muestreo y la humedad relativa y es utilizado para análisis dependientes e independientes de cultivo. Sirve para muestrear bacterias, hongos, polen y virus.

Los colectores por impacto de una o varias etapas utilizan un medio sólido o semi-sólido como superficie de recolección. Un medio de agar es utilizado para los análisis dependientes de cultivo, principalmente hongos y bacterias. Es económico y de fácil uso, sin embargo, pueden perderse microorganismos viables debido al estrés del impacto o a la falta de adherencia al medio de cultivo.

Y, por último, los bioaerosoles pueden ser recolectados por impacto en un medio líquido, generalmente más suave que el impacto en agar. Este método permite que la muestra sea dividida para análisis subsecuentes por diferentes técnicas.

Parte de la problemática en el estudio de los microorganismos aerotransportables es la dificultad para evaluar con precisión la muestra en condiciones de campo debido a la eficiencia de la recolección de la misma. Otro problema es la necesidad de identificación de bacterias, hongos y virus a nivel de especie o incluso a nivel de cepa, ya que dentro de la misma familia pueden diferir en la patogenicidad (Yoo *et al.* 2017).

El análisis de metagenoma que utiliza genes de mantenimiento o funcionales, generalmente 16S o 18S, es actualmente el enfoque más importante para la identificación microbiana en estudios de diversidad.

2.2.4 Estudios en Yucatán

Se han realizado estudios de muestreo del aire en Yucatán. López (2010) en su estudio para evaluar la calidad microbiológica del aire de la ciudad de Mérida, Yucatán, encontró más de 21 géneros fúngicos, siendo la fracción fúngica respirable de 34 a 76%, comprobando la influencia de la vegetación o zonas verdes sobre la concentración de esporas fúngicas encontradas.

González (2011) encontró variación en concentraciones de hongos de 253 a 24,007 UFC/m³ y de bacterias de 35 a 5,449 UFC/m³, identificando 13 géneros fúngicos y 21 géneros bacterianos, encontrando una relación estadísticamente significativa entre los parámetros urbanos con las concentraciones de hongos y bacterias.

3. METODOLOGÍA

En la Figura 2 se resume la metodología empleada en este trabajo de investigación.

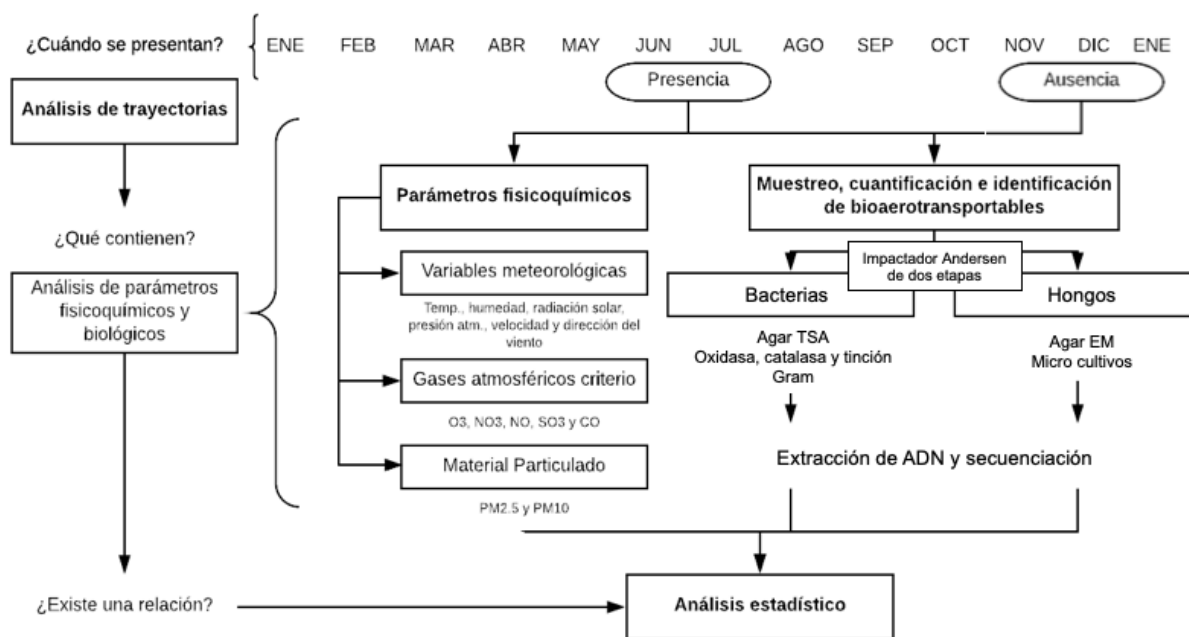


Figura 2. Diagrama metodológico

3.1 Ubicación de sitio de muestreo

El estudio se realizó en la ciudad de Mérida, Yucatán, ubicada al noreste de la península de Yucatán. El sitio de muestreo fue el Observatorio Atmosférico Mérida de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA-UNAM, 20.9838°N, 89.6452°W), ubicado en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Yucatán.

3.2 Análisis de trayectorias

Se definió el periodo de llegada de los polvos del Sahara a la península de Yucatán mediante un estudio de trayectorias aplicando un modelo de transporte y de dispersión atmosférica. De igual manera, posterior a los muestreos se construyeron trayectorias

de las parcelas de aire allegadas al sitio de muestreo para identificar el origen del polvo por análisis de las corrientes de aire, utilizando información histórica.

Se utilizó el modelo HYSPLIT, un modelo lagrangiano para cálculo de retrotrayectorias que utiliza la base de datos de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, por sus siglas en inglés), diseñado para realizar una amplia gama de simulaciones relacionadas con el transporte atmosférico y la dispersión de contaminantes y materiales peligrosos, así como la deposición de estos materiales en la superficie de la Tierra. Este modelo es ejecutado en el servidor web Air Resources Laboratory (ARL) de la NOAA mediante un sistema de aplicaciones y visualización ambiental en tiempo real (READY), un sistema único basado en la web que reúne modelos de dispersión, programas de visualización meteorológica y programas textuales de pronóstico del tiempo.

De manera complementaria para confirmar la presencia de polvos del Sahara durante los muestreos se utilizó la herramienta CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service, por sus siglas en inglés), desarrollada por la Unión Europea para el análisis y procesamiento de información de la composición de la atmósfera, con la que se da seguimiento a los pronósticos y comportamientos reales de las nubes de polvo del Sahara.

3.3 Determinación de parámetros fisicoquímicos

En el punto de muestreo se encuentran sensores que realizaron las mediciones de temperatura, presión, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, gases atmosféricos criterio (O_3) y partículas finas ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en los periodos establecidos, empleando instrumentos del Observatorio Atmosférico Mérida de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos. En la Tabla 1 se enlistan los instrumentos, marca y modelo utilizados para medir cada parámetro.

Tabla 1. Equipos para monitoreo de parámetros fisicoquímicos.

PARÁMETRO	INSTRUMENTO	MARCA	MODELO
Temperatura Humedad	Sensor de temperatura y humedad relativa	Vaisala	HMP155
Presión atmosférica	Barómetro	Vaisala	PTB110
Velocidad del viento Dirección del viento	Sensor de viento	Gill	1405-PK-100
Gases atmosféricos criterio	Analizador de O ₃	Thermo Scientific	49i
Partículas finas	Muestreador de partículas PM ₁₀	Thermo Scientific	FH62C14
	Muestreador de partículas PM _{2.5}	Thermo Scientific	FH62C14

3.4 Muestreo de bioaertransportables

Para el muestreo de los microorganismos cultivables se utilizó el equipo Andersen de dos niveles (Figura 3). Este muestreador es un impactador en cascada con dos cabezales perforados con 200 orificios cada uno, cuyo diámetro disminuye progresivamente en sentido descendente al que capta las partículas. Los bioaertransportables impactan en una serie de placas con medio de cultivo a un caudal de aire de 28.3 l/min. El principio de este dispositivo es la separación por tamaño de partícula, separando la fracción respirable y no respirable. Los niveles por los cuales pasa el flujo de aire es la simulación del aparato respiratorio de una persona. Dependiendo del número de niveles que una partícula puede pasar, se puede tener idea del impacto que puede ocasionar en el cuerpo humano.



Figura 3. Sistema Andersen de dos etapas y relación del tamaño de partícula con la captación en el sistema respiratorio.

Los muestreos se realizaron en tres momentos del día: 8:30 h, 13:00 h y 19:00 h todos los días que hubo presencia de polvos del Sahara en la ciudad de Mérida en los meses de junio y julio (Muestreo 1) y el muestreo en ausencia de polvos del Sahara se llevó a cabo en el mes de enero (Muestreo 2). En la Figura 4 se observa a mitad del océano Atlántico la nube más densa de polvos que llegó al continente en el 2018, durante el periodo de muestreo.

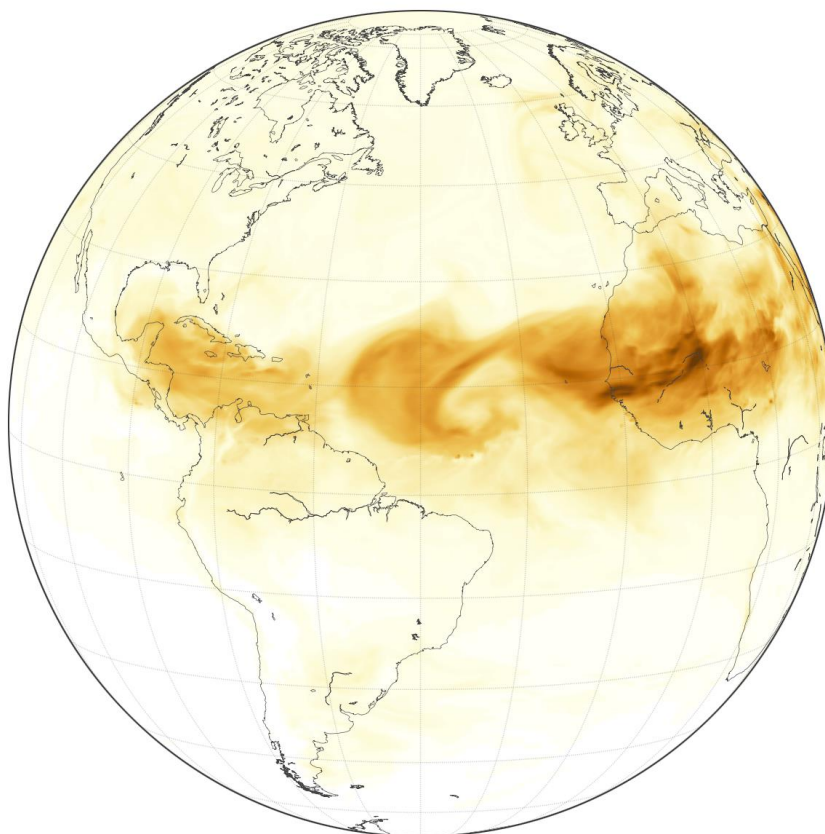


Figura 4. Nube de polvos del Sahara, julio 2018.

3.4.1 Medios de cultivo

Como medio de cultivo se utilizó agar extracto de malta (EM), para el crecimiento de hongos con 0.1 g/l de novobiocina para la inhibición del crecimiento bacteriano y agar tripticasa de soya (TSA) para el crecimiento de bacterias con 0.1 g/l de ciclohexamida para evitar el crecimiento de hongos.

3.5 Análisis de las muestras

3.5.1 Cuantificación

Debido a que existe la probabilidad de captar múltiples partículas en cada uno de los 200 orificios que tiene cada placa del equipo Andersen, fue necesario utilizar un factor de corrección en cada uno de los conteos de las cajas de Petri. Para realizar esta corrección, se utilizó la tabla que viene en el manual del equipo Andersen (New Star Environmental 2008). Una vez realizada la corrección se convirtieron las unidades a UFC/m³, tomando en cuenta que el muestreo se realizó por 1 minuto y que la cantidad de aire succionado es de 28.3 L/min por lo que:

$$\frac{(NCP)(1000)}{28.3} = UFC/m^3$$

Donde NCP es el número de partículas corregido y UFC son las unidades formadoras de colonias.

3.5.2 Identificación de microorganismos cultivables

Posterior al muestreo, todas las muestras se incubaron a temperatura ambiente. Se realizó un conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) a las 24 y 48 horas para bacterias y a las 24, 48 y 72 horas para hongos. Se clasificaron los microorganismos observados de acuerdo a la morfología macroscópica presentada, como color, forma, tamaño, borde, micelio, textura, entre otros.

Una vez clasificadas cada una de las colonias de bacterias, se aislaron las colonias diferentes por cada día de muestreo para posteriormente realizar las pruebas oxidasa, catalasa y tinción gram.

Para los hongos, se identificaron los que tenían morfología diferente por día de muestreo y se trasladaron a un microcultivo con medio agar agua y agar extracto de malta. Cada hongo se incubó por 30 días a temperatura ambiente. Pasado el tiempo

de crecimiento, se identificaron los hongos de manera micromorfológica (De Hoog *et al.* 2000; Dugan 2006; Barnett y Hunter 1998).

Se realizó la extracción de metagenoma utilizando el protocolo de Rojas *et al.* (2008) para bacterias y con variaciones en el choque térmico para los hongos. Al finalizar el proceso de extracción se verificó la integridad de la banda de ADN metagenómico realizando una electroforesis en un gel de agarosa al 1% y se cuantificó con el equipo NanoDrop® con la finalidad de medir la cantidad y calidad de ácidos nucleicos.

Las muestras óptimas de ácidos nucleicos se enviaron al Laboratorio Research and Testing Genomics en Lubbock, Texas, EE. UU., para la amplificación y secuenciación del gen 16S o 18S para el caso de las bacterias y hongos, respectivamente.

3.5.3 Análisis de los datos

Se elaboró una base de datos, la cual contiene información de las UFC/m³ de ambos muestreos en los tres horarios de hongos y de bacterias, los parámetros meteorológicos, los gases atmosféricos y el material particulado. Una vez terminada la base de datos se realizaron diversos análisis estadísticos: prueba de normalidad, correlación lineal, prueba de Kruskal-Wallis y pruebas de significancia; con el objetivo de hallar relaciones estadísticamente significativas y concluir si hay o no influencia de los polvos del Sahara en la microbiota presente en el aire de la ciudad de Mérida, Yucatán.

4. RESULTADOS

4.1 Seguimiento de polvos del Sahara y definición de periodos de muestreo

Mediante la herramienta CAMS se monitoreó la llegada de los polvos del Sahara a la península de Yucatán. En la Figura 5 se observa en sombreado la densidad de la nube de polvo que llegó a la península el 28 de junio a las 12:00.

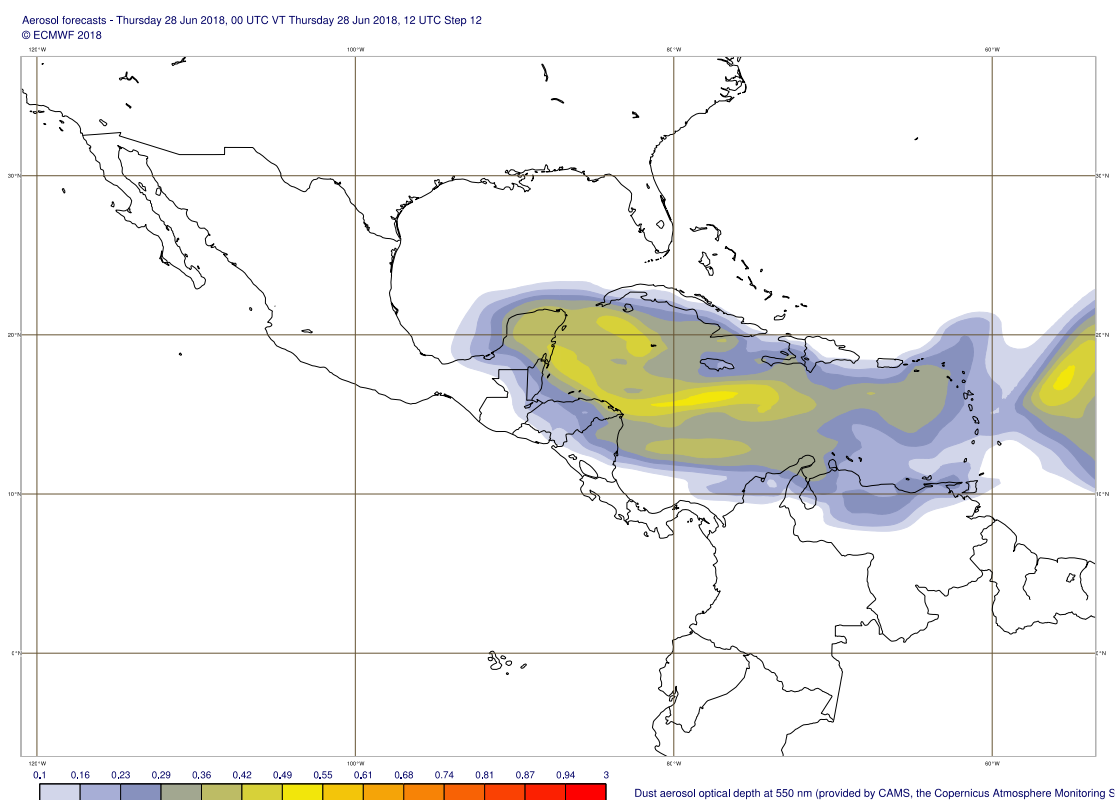


Figura 5. CAMS 28 de junio de 2018 12:00

Se definieron los dos periodos de muestreo de la manera siguiente: el muestreo en presencia de polvos (muestreo 1) se realizó todos los días que hubo presencia de polvos en la ciudad de Mérida, Yucatán: 28 y 29 de junio; 2, 3, 7, 8, 13, 14 y 15 de julio de 2018. Se definió el muestreo en ausencia de polvos (muestreo 2) en el mes de

enero muestreando el mismo número de días del muestreo 1, los días fueron 18, 19, 20, 24, 25, 26, 27 y 28 de enero.

Una vez definidos los días, se realizaron trayectorias de retroceso con la herramienta HYSPLIT para validar el origen del aire muestreado (Figura 6). Como se observa en la Figura 6, las corrientes de aire que llegaron a la península el día 28 de junio provienen del Océano Atlántico y a su vez desde la región del Sahara en África. Se muestra la imagen de la trayectoria a las 12 h como simplificación, ya que la variación es mínima con los datos de los tres horarios de muestreo. En los Anexos se pueden observar las trayectorias de todos los días en los que hubo muestreos.

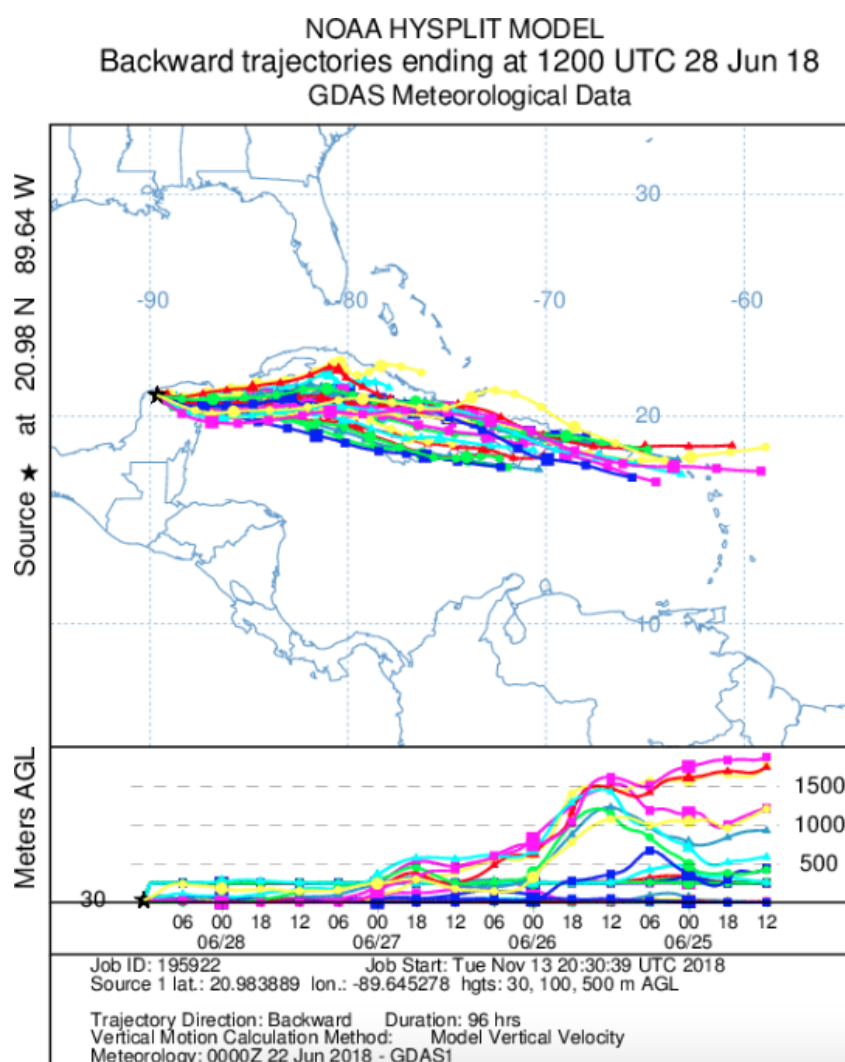


Figura 6. Trayectoria de retroceso 28 de junio de 2018 12:00.

El clima del Caribe se divide en dos estaciones: la temporada lluviosa desde mayo hasta noviembre y la temporada seca de diciembre a abril. El polvo africano llega al Caribe en verano y coincide con la temporada de lluvias (Goudie y Middleton 2001). La presencia de alta humedad y velocidad lenta del viento permite que las partículas de polvo descendan. (Akpinar-Elci *et al.* 2015).

4.2 Recopilación de información de variables meteorológicas, gases atmosféricos y material particulado.

Los parámetros ambientales son de vital importancia para el transporte y la supervivencia de los microorganismos. Se tomaron los valores puntuales a la hora exacta a la que se realizó cada muestreo de la humedad absoluta, temperatura del aire, presión ambiental, punto de rocío, humedad relativa, temperatura del viento, dirección del viento y velocidad del viento (Tabla 2).

Durante el muestreo 1 se tuvieron temperaturas máximas de 33°C en la tarde y mínimas de 24°C en la noche, en el muestreo 2 la máxima fue de 30°C en la tarde y la mínima de 13°C en la mañana. De manera general, la temperatura óptima para el desarrollo de los hongos se encuentra entre 25°C y 30°C y el límite máximo se encuentra entre 40°C y 45°C (López 2010).

La presión tuvo valores máximos de 1,017 hPa en el muestreo 1 y 1,021 hPa en el muestreo 2 y valores mínimos de 1,012 hPa y 1,011 hPa respectivamente. La humedad relativa en el muestreo 1 estuvo entre un mínimo de 48.34% en la tarde y un máximo de 90.93% en la mañana, y en el muestreo 2 entre 46% en la tarde y 95.7% en la mañana.

La velocidad del viento influye directamente en la distribución de las partículas por la atmósfera y de la distancia que éstas recorren, por lo que es de vital importancia conocer los valores de este parámetro durante los muestreos. Durante el muestreo 1 se tuvieron valores mínimos 0.36 m/s y valores máximos de 6.34 m/s. Durante el muestreo 2 el valor mínimo fue de 1.25 m/s y el valor máximo de 5.32 m/s.

Hubo precipitación en las temporadas de ambos muestreos, sin embargo, no se tomaron muestras durante los horarios de lluvias. Durante el muestreo 2 hubo temperaturas más bajas.

Tabla 2. Comparación de variables meteorológicas muestreo 1 y 2.

Parámetro	Muestreo 1			Muestreo 2		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
Temperatura del aire (°C)						
Mañana	26.18	28.14	27.02	13.87	21.97	20.78
Tarde	32.29	33.24	32.67	21.76	30.79	23.79
Noche	24.56	29.99	29.04	21.2	27.12	22.53
Presión ambiental (hPa)						
Mañana	1015	1017	1017	1010	1019	1015
Tarde	1013	1017	1015	1011	1021	1015
Noche	1012	1016	1015	1011	1021	1012
Humedad relativa (%)						
Mañana	76.21	90.93	85.95	68.17	95.7	89.89
Tarde	48.34	58.8	55.62	46	82.5	50.48
Noche	60.55	87.39	69.58	49.77	89.16	66.54
Dirección del viento (°)						
Mañana	78.15	132.58	108.12	14.66	332.26	132.3
Tarde	87.31	118.85	100.78	36.11	351.27	89.08
Noche	41.93	105.99	61.38	31.91	339.61	46.21
Velocidad del viento (m/s)						
Mañana	2.55	4.03	2.93	1.46	4.28	2.52
Tarde	2.54	5.36	3.7	1.25	5.32	4.18
Noche	0.36	6.34	4.21	3.17	4.3	3.71

En la Tabla 3 se observan los valores de la cantidad de ozono (O_3) presente en la atmósfera en el momento de los muestreos y la cantidad de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$). Para el ozono, durante el muestreo 1 se tuvo un valor mínimo de 3.63 ppb y un valor máximo de 20.76 ppb y durante el muestreo 2 se tuvo un valor mínimo de 0.51 ppb y un máximo de 43.40 ppb.

Los valores de PM₁₀ durante el muestreo 1 y 2 fueron máximos de 104.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 48.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente y mínimos de 12.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 1.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Y de PM_{2.5} hubo valores máximos de 42. $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 19.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el muestreo 1 y 2 respectivamente y valores mínimos de 2.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 1.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 3. Comparación de gases atmosféricos y PM muestreo 1 y 2.

Parámetro	Muestreo 1			Muestreo 2		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
O₃ (ppb)						
Mañana	8.67	15.57	10.90	0.51	30.83	15.98
Tarde	13.12	20.76	15.65	24.55	43.40	32.02
Noche	3.63	12.76	10.79	21.45	31.41	29.81
PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
Mañana	19.84	60.96	34.63	11.76	48.22	17.74
Tarde	28.31	104.90	62.64	9.28	39.10	25.70
Noche	12.16	77.83	60.14	1.50	25.81	15.48
PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
Mañana	2.01	30.68	13.93	1.54	15.84	6.77
Tarde	7.44	42.14	18.36	1.77	19.96	10.61
Noche	5.65	26.70	19.00	0.30	19.33	4.57

Se realizó la prueba de Kruskal-Wallis obteniendo que no hay una diferencia significativa entre la concentración de hongos y bacterias con los parámetros ambientales, gas ozono y material particulado.

4.3 Cuantificación de hongos y bacterias

Las concentraciones de las partículas aerotransportables viables de bacterias presentes en el sitio de muestreo durante los muestreos 1 y 2 se presentan en la Tabla 4. De manera general observamos que en la mañana hubo mayor cantidad de UFC/m³ en el muestreo 2, con un mínimo de 353 UFC/m³ y un máximo de 1,590 UFC/m³ siendo que en el muestreo 1 el mínimo fue de 106 UFC/m³ y el máximo de 389 UFC/m³. En la tarde supera nuevamente el muestreo 2 con un mínimo de 247 UFC/m³ y un máximo de 1,060 UFC/m³ y el muestreo 1 el mínimo fue de 0 UFC/m³ y el máximo de 353

UFC/m³. En la noche el máximo de UFC/m³ se observó en el muestreo 1, con un valor de 5,760 UFC/m³ contra un máximo de 1,413 UFC/m³ del muestreo 1.

Tabla 4. Cuantificación de bacterias totales y respirables de los muestreos 1 y 2.

Horario	MUESTREO 1				MUESTREO 2			
	Mínimo UFC/m ³	Máximo UFC/m ³	Mediana	Desviación Estándar	Mínimo UFC/m ³	Máximo UFC/m ³	Mediana	Desviación Estándar
Mañana (n=7)								
UFC totales	106	389	212	100	353	1,590	777	446
Respirables	35	247	141	72	247	989	389	246
% respirables	33%	64%	67%		70%	62%	50%	
Tarde (n=7)								
UFC totales	0	353	141	120	247	1,060	389	310
Respirables	0	0	71	93	71	671	212	197
% respirables	-	0%	50%		29%	63%	55%	
Noche (n=7)								
UFC totales	247	5,760	530	2,032	283	1,413	389	475
Respirables	141	5,654	389	1,920	106	1,095	283	395
% respirables	57%	98%	73%		38%	78%	73%	

UFC: unidades formadoras de colonias

n: número de muestreos realizados

En la Tabla 5 observamos las concentraciones de esporas fúngicas. En el muestreo 1 se obtuvieron datos más altos en la mañana y en la noche, siendo la tarde ligeramente más cuantiosa para el muestreo 2. En la mañana se obtuvieron valores máximos y mínimos de 5,159 UFC/m³ y 495 UFC/m³ para el muestreo 1 y para el muestreo 2 valores máximos de 3,746 UFC/m³ y mínimos de 318 UFC/m³. En la tarde se encontraron los valores más bajos siendo los mínimos de 141 UFC/m³ y 283 UFC/m³ para muestreos 1 y 2 y los máximos de 1,378 UFC/m³ y 1,413 UFC/m³ respectivamente. Y, por último, en la noche para el muestreo 1 se encontró el valor máximo de 13,569 UFC/m³ y mínimo de 495 UFC/m³ y para el muestreo 2 el valor máximo de 2,438 UFC/m³ y mínimo de 106 UFC/m³.

Cabe mencionar que en el muestreo 1 la concentración de esporas fúngicas presentó valores más altos que la concentración de bacterias en los tres horarios de muestreo.

Tabla 5. Cuantificación de hongos durante los muestreos 1 y 2.

Horario	MUESTREO 1				MUESTREO 2			
	Mínimo UFC/m ³	Máximo UFC/m ³	Mediana	Desviación Estándar	Mínimo UFC/m ³	Máximo UFC/m ³	Mediana	Desviación Estándar
Mañana (n=7)								
UFC totales	495	5,159	2,721	1,776	318	3,746	919	1,226
Respirables	318	4,488	2,650	1,534	318	3,463	742	1,145
% respirables	64%	87%	97%		100%	92%	81%	
Tarde (n=7)								
UFC totales	141	1,378	848	437	283	1,413	883	417
Respirables	71	954	671	308	247	1,166	671	340
% respirables	50%	69%	79%		88%	83%	76%	
Noche (n=7)								
UFC totales	495	13,569	2,562	4,258	106	2,438	954	947
Respirables	459	7,774	1,926	2,392	106	2,155	883	800
% respirables	93%	57%	75%		100%	88%	93%	

UFC: unidades formadoras de colonias

n: número de muestreos realizados

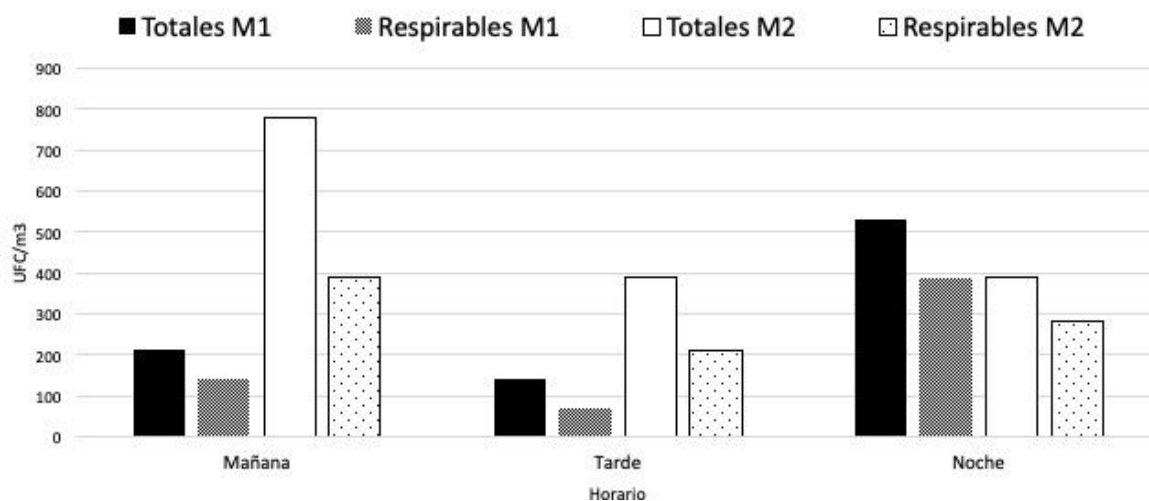


Figura 7. Comparación de medianas: Concentración de fracción entera y fracción respirable de bacterias del muestreo 1 y 2 según el horario.

En la Figura 7 observamos la comparación de las UFC/m³ totales y la fracción respirable de las bacterias del muestreo 1 y 2 en los diferentes horarios.

En la Figura 8 observamos la comparación de las UFC/m³ totales y la fracción respirable de las esporas fúngicas del muestreo 1 y 2 en los diferentes horarios. Debido a que los hongos de transmisión aérea son mucho más importantes que las bacterias como causa de enfermedades alérgicas, es importante resaltar que hubo porcentajes más altos de fracción respirable en hongos, que varían desde 50% hasta 97% en el muestreo 1 y de 76% a 100% en el muestreo 2.

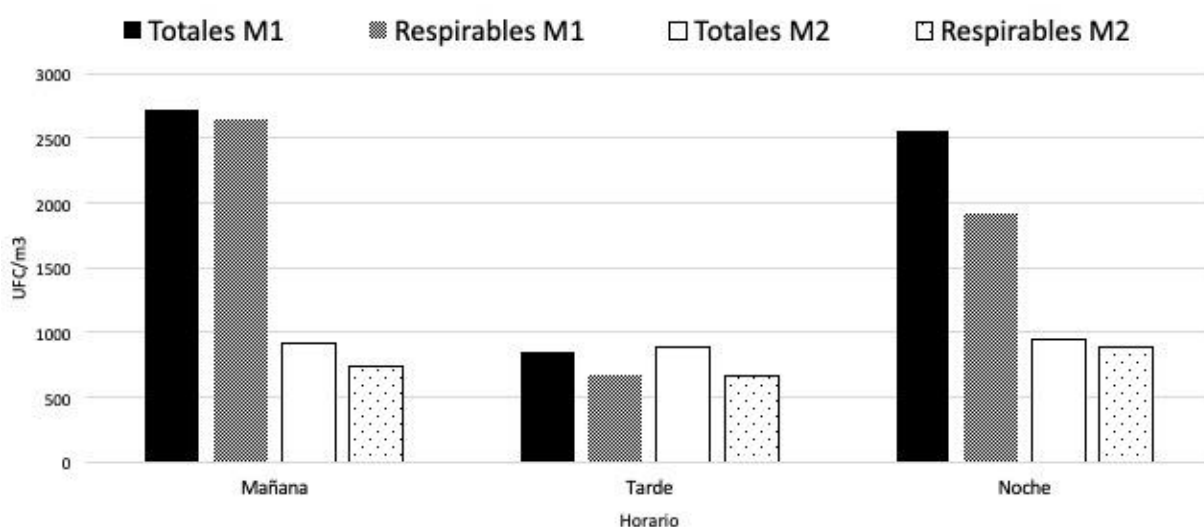


Figura 8. Comparación de medianas: Concentración de fracción entera y fracción respirable de hongos del muestreo 1 y 2 según el horario.

En la Tabla 6 se observa la comparación entre estudios que se han realizado para cuantificar los microorganismos en el aire en presencia y en ausencia de polvos del Sahara en la ciudad de Mérida, en Barbados, las Islas Vírgenes y el norte de África. En presencia de polvos, este estudio tuvo el valor máximo de la tabla de concentración de esporas fúngicas con un rango de 141 – 13,569 UFC/m³, en Barbados se encontraron valores entre el rango 0- 213 UFC/m³, en las Islas Vírgenes 0-16 UFC/m³ y en África 80-370 UFC/m³. Para bacterias en presencia de polvos se obtuvieron los siguientes valores: en Barbados 0-350 UFC/m³, en las Islas Vírgenes 0-20 UFC/m³, en

nuestro estudio 0 – 5,760 UFC/m³ y en África 720-15,700 UFC/m³ obteniendo los valores máximos.

Tabla 6. Comparación de estudios cuantitativos de microbiota del aire.

Lugar de muestreo	Estudio	Método utilizado	Análisis	Hongos (UFC/m ³)		Bacterias (UFC/m ³)	
				CON polvos	SIN polvos	CON polvos	SIN polvos
Mérida	Este estudio			141 –	106 –	0 – 5,760	247 –
	González 2011	Impactador	Cultivos	13,569	3,746	-	1,590
	López 2010		ADN	-	2,251	-	885
	López 2008		metagenoma	-	2,590	-	-
			-	1,081	-	601	
Barbados	Prospero 2005		-	213	-	120	-
	Griffin 2001	Filtración	Cultivo, ADN de aislados	30 – 60	60	90 – 350	100
	Griffin 2003			0 – 90	0 – 40	0 – 185	0 – 66
	Weir-Brush 2004			50 - 83	-	0 - 50	-
Islas Vírgenes	Prospero 2005	Filtración	Cultivo Microscopía	0 - 16	0	0 - 20	0
Mali (África)	Kellogg 2004	Filtración	Cultivo Extracción ADN de asilados	80 - 370	0 - 130	720 – 15,700	200 – 1,100

UFC: unidades formadoras de colonias

En los estudios donde no se dieron valores de rangos se utilizaron promedios

En el caso de las esporas fúngicas en ausencia de polvos, los estudios realizados en Mérida mostraron los valores máximos con un rango de 106 – 3,746 UFC/m³ (este estudio), 2,251 UFC/m³ (González 2011), 2,590 UFC/m³ (López 2010) y 1,081 UFC/m³ (López 2008). En Barbados se encontraron valores entre el rango 0- 60 UFC/m³, en las Islas Vírgenes 0 UFC/m³ y en África 0-130 UFC/m³. Para bacterias en ausencia de polvos se obtuvieron los siguientes valores: en Barbados 0-100 UFC/m³, en las Islas Vírgenes 0 UFC/m³, en África 200-1,100 UFC/m³ y en nuestro estudio 247 - 1,590

UFC/m³, siendo el valor máximo comparado con los otros estudios también realizados en Mérida: González (2011) 885 UFC/m³ y López (2008) 601 UFC/m³.

4.4 Identificación de hongos y bacterias

4.4.1 Géneros de bacterias identificados

Para la caracterización de bacterias cultivables se realizaron las pruebas bioquímicas: catalasa, oxidasa y tinción gram. Observamos en la Tabla 7 que durante el muestreo 1 hubo 62% de bacterias que dieron positiva la prueba de oxidasa y 38% negativa, mientras que en el muestreo 2 fueron 47% pruebas positivas y 53% negativas. Para la prueba catalasa fueron 24% pruebas positivas en el muestreo 1 y 26% en el muestreo 2 y las negativas 76% y 74% respectivamente. La prueba tinción gram dio como resultado en el muestreo 1 un 88% de bacterias gram positivas y 82% en el muestreo 2 y 12% de bacterias gram negativas en el muestreo 1 y 18% en el muestreo 2.

Tabla 7. Pruebas oxidasa y catalasa.

Prueba	Muestreo 1		Muestreo 2	
	Cantidad	%	Cantidad	%
OXIDASA				
negativa	13	62%	14	47%
positiva	8	38%	16	53%
CATALASA				
negativa	5	24%	8	26%
positiva	16	76%	23	74%
GRAM				
positivo	15	88%	23	82%
negativo	2	12%	5	18%

En la Tabla 8 observamos que en el muestreo 1 el 52% de las bacterias tuvieron formación de estafilococos y 19% de estreptococos y en el muestreo 2, 48% y 16%. Del muestreo 1 son 10% de enterobacterias y 10% de no enterobacterias, y en el muestreo 2 son 6% y 29%. En el muestreo 1 se tuvieron 5% de bacterias filamentosas y 5% de levaduras. En los estudios citados en la Tabla 6, la mayoría de las bacterias

fueron gram positivas, al igual que en este estudio (Kellogg *et al.* 2004, Griffin *et al.* 2003).

Tabla 8. Clasificación por microscopía de bacterias.

Prueba	Muestreo 1		Muestreo 2	
	Cantidad	%	Cantidad	%
Cocos				
Estafilococo	11	52%	15	48%
Streptococo	4	19%	5	16%
Bacilos				
Enterobacterias	2	10%	2	6%
No Enterobacterias	2	10%	9	29%
Filamentosas	1	5%		0%
Levaduras	1	5%		
	21		31	

En la Tabla 9 se presentan los resultados obtenidos de la extracción de ADN mostrando el porcentaje de abundancia de cada género de bacterias en los muestreos 1 y 2 en la ciudad de Mérida, Yucatán y la comparación entre varios estudios realizados en presencia y ausencia de polvos en el Caribe y el Norte de África. Observamos que en el muestreo 1 realizado en Mérida, Yucatán los géneros predominantes fueron *Psychrobacter* (37.4%), *Brevundimonas* (25.4%) y *Microbacterium* (9.5%), Griffin *et al.* (2003) y Kellogg *et al.* (2004) encontraron en común con este estudio *Microbacterium*, *Bacillus*, *Kokuria* y *Arthrobacter*, entre otros. En el muestreo 2 se encontraron los géneros *Psychrobacter* (49.7%), *Exiguobacterium* (31.6%) y *Staphylococcus* (3.0%) en mayor proporción, Griffin *et al.* (2003) encontró en común con este estudio *Acinetobacter* y *Pseudomonas*, González (2011) y López (2008) encontraron *Bacillus* y *Staphylococcus* en común.

Tabla 9. Comparación de estudios. Bacterias.

Género	EN PRESENCIA			EN AUSENCIA			
	M 1	Griffin 2003	Kellogg 2004	M 2	Griffin 2003	González 2011	López 2008
Lugar de muestreo	Mérida	Caribe	Mali	Mérida	Caribe	Mérida	Mérida
<i>Psychrobacter</i>	37.4%			49.7%			
<i>Brevundimonas</i>	25.4%			0.8%			
<i>Microbacterium</i>	9.5%	+	+	0.3%			
<i>Bacillus</i>	5.7%	+	+	1.8%		6.64%	+
<i>Exiguobacterium</i>	5.6%			31.6%			
<i>Kocuria</i>	5.2%	+	+	0.2%		15.37%	
<i>Curtobacterium</i>	1.5%	+		0.2%			
<i>Staphylococcus</i>	1.4%		+	3.0%		11.65%	+
<i>Pantoea</i>	1.3%			-			
<i>Arthrobacter</i>	1.3%	+	+	0.6%			
<i>Kurthia</i>	1.0%			-			
<i>Leucobacter</i>	0.6%			-			
<i>Agrococcus</i>	0.6%	+	+	0.0%			
<i>Acinetobacter</i>	0.1%		+	3.9%	+		+
<i>Sphingobacterium</i>	0.1%	+		-	+		
<i>Sporosarcina</i>	0.0%			4.9%			
<i>Pseudomonas</i>	-	+		0.1%	+	0.58%	
<i>Pasteurella</i>						30.85%	

Algunas de las bacterias que se aislaron están altamente pigmentadas, lo que sugiere que la pigmentación también ayuda a proteger a los microbios de la radiación UV, además de la protección que brindan las nubes, la niebla, el humo y las partículas de polvo del desierto (Kellogg *et al.* 2004). Los microbios, el polen y las partículas de polvo mineral se eliminan finalmente de la atmósfera por gravedad o precipitación.

4.4.2 Géneros fúngicos identificados

Se identificaron 12 géneros de esporas fúngicas presentes en el aire por microscopía (Tabla 10). El género que tuvo mayor presencia en ambos muestreos fue *Cladosporium* con 15.2% en el muestreo 1 y 21.4% en el muestreo 2.

De igual manera, Gonzáles (2011) encontró que *Cladosporium* fue el género que obtuvo mayor porcentaje en los tres horarios de muestreo (>50%), después estuvo *Fusarium* (8.87%) y *Acremonium* (8.81%).

El género *Cladosporium* pertenece a la familia *Demaciáceas* (orden *Moniliales*, subdivisión *Deuteromycotinas*) que engloba a unas 40 especies, algunas de ellas fitopatógenas y la mayoría saprofitas creciendo sobre vegetación, sobre el suelo o sobre materia orgánica podrida; algunas de sus especies son capaces de atacar celulosa, pectina y lignina. Es un género de distribución cosmopolita, siendo uno de los taxones más aislado y abundante en los recuentos aerobiológicos de todo el mundo. Es ampliamente citado como productor de asma y esporosis, e incluso algunas de sus especies actúan como oportunistas y son capaces de intervenir en ciertos procesos micóticos pulmonares, atacar la piel, producir cromoblastomicosis y lesiones neurotrópicas.

Tabla 10. Géneros fúngicos identificados por microscopía y su % de aparición.

Género	Muestreo 1		Muestreo 2	
	Cantidad	%	Cantidad	%
<i>Cladosporium</i>	7	15.2%	9	21.4%
<i>Chrysosporium</i>	3	6.5%	-	-
<i>Acremonium</i>	2	4.3%	1	2.4%
<i>Aspergillus</i>	2	4.3%	8	19.0%
<i>Alternaria</i>	2	4.3%	-	-
<i>Curvularia</i>	2	4.3%	1	2.4%
<i>Mucor</i>	1	2.2%	-	-
<i>Bipolaris</i>	1	2.2%	-	-
<i>Penicillium</i>	1	2.2%	5	11.9%
<i>Staphylotricum</i>	1	2.2%	-	-
<i>Fusarium</i>	-	-	4	9.5%
<i>Trichopyton</i>	-	-	1	2.4%
Levaduras	4	8.7%	3	-
Sin crecimiento	2	4.3%	1	2.4%
NGE	18	39.1%	9	21.4%
	46		42	

En la Tabla 11 observamos la comparación entre varios estudios realizados en presencia y ausencia de polvos en Mérida, el Caribe y el Norte de África de los géneros fúngicos encontrados. Se mencionan solo los géneros que tuvieron mayor abundancia en cada estudio. Los principales géneros encontrados en este estudio fueron *Alternaria*, *Fusarium* y *Coniochaeta* en el muestreo 1, en Barbados y en Mali también se encontró *Alternaria*, *Aspergillus* y *Cladosporium*, en presencia de polvos. En ausencia de polvos se encontró en el muestreo 2 en mayor proporción *Hannaella*, *Coniochaeta* y *Fusarium*, y en otros estudios en la ciudad se encontró en mayor proporción *Cladosporium* (González, 2011) y *Fusarium* (López 2010).

Tabla 11. Comparación de estudios, hongos.

Género	EN PRESENCIA DE POLVOS				EN AUSENCIA		
	M 1	Prospero 2005	Kellogg 2004	Dransfield 1966	M 2	González 2011	López 2010
Lugar muestreado	Mérida	Barbados	Mali	Nigeria	Mérida	Mérida	Mérida
<i>Alternaria</i>	46.4%	0.02%	+		1.5%		
<i>Fusarium</i>	33.5%				4.4%	8.58%	54%
<i>Coniochaeta</i>	7.1%				7.3%		
<i>Schizophyllum</i>	2.6%				0.1%		
<i>Corynespora</i>	1.7%				0.0%		
<i>Curvularia</i>	0.3%	1.6%		25.1%	-	0.56%	
<i>Aspergillus</i>	0.3%	1.1%	+		0.3%	1.5%	49%
<i>Cladosporium</i>	0.2%	1.5%	+	36.8%	3.8%	66.64%	
<i>Hannaella</i>	0.1%				73.8%		
<i>Penicilium</i>	-	2.9%			1.9%	1.83%	
<i>Acremonium</i>	-				-	6.89%	35%

En varios de los estudios (Dransfiel 1966, Kellogg *et al.* 2004, Prospero *et al.* 2005) *Cladosporium* fue el género fúngico numéricamente dominante detectado durante los eventos de polvo; sin embargo, esto podría deberse a que *Cladosporium* se encuentra comúnmente en muestras de aerosol. Este género es uno de los géneros encontrados con mayor frecuencia en los estudios ambientales en campo y muchas especies son patógenas para una amplia variedad de plantas y animales (Griffin *et al.* 2003). Las especies de *Aspergillus* también se asociaron con eventos de polvo (Prospero *et al.* 2005, Griffin *et al.* 2003, Kellogg *et al.* 2004). Aunque este género también se observa con frecuencia en muestras de aerosoles, las especies son de interés debido a sus funciones como alérgenos y, en algunos casos como patógenos.

4.5 Análisis estadístico.

Uno de los objetivos de este trabajo es saber si existe una relación entre los parámetros meteorológicos, los gases atmosféricos y el material particulado con la concentración de UFC/m³ de hongos y de bacterias encontrados en los muestreos 1 y 2. Los análisis se presentan a continuación.

4.5.1 Efecto de la presencia y ausencia de polvos en la concentración de hongos y bacterias.

Se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis donde se obtienen, para un intervalo de confianza del 95%, valores de $p < 0.05$ lo que indica que hay diferencias significativas entre las concentraciones de hongos y bacterias en los muestreos 1 y 2.

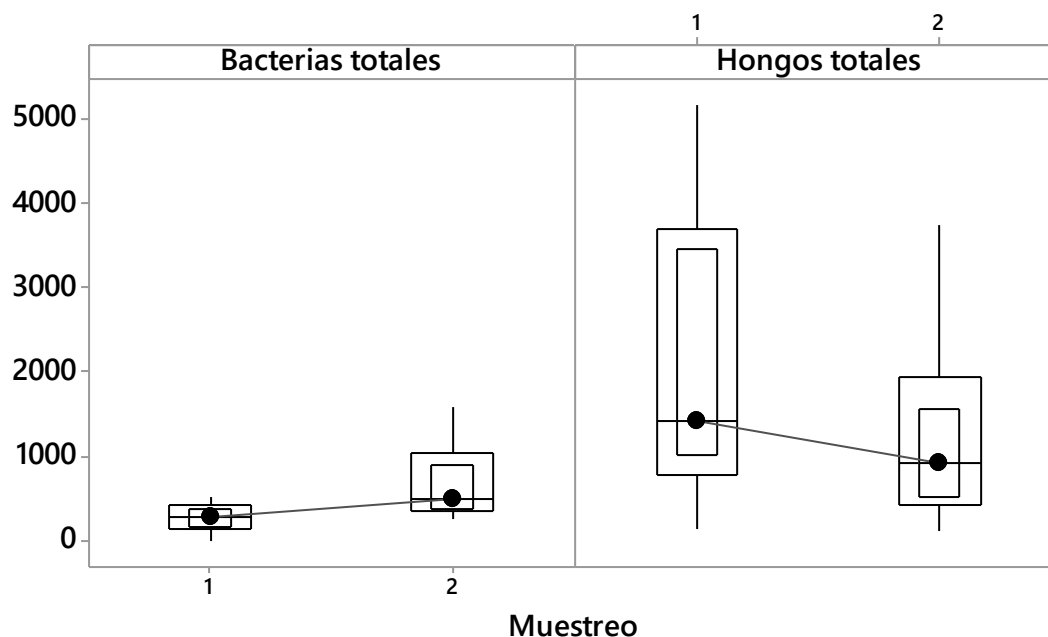


Figura 9. Gráfica de caja de bacterias y hongos totales del muestreo 1 y 2.

En el muestreo 1 hubo mayor concentración de hongos que en el muestreo 2, siendo al revés para el muestreo 2 donde hubo una mayor concentración de bacterias que en el muestreo 1 (Figura 9).

4.5.2 Efecto de los parámetros meteorológicos en las UFC/m³ totales de hongos y bacterias

Para los parámetros numéricos como: humedad absoluta, temperatura del aire, presión ambiental, punto de rocío, humedad relativa, temperatura del viento, dirección y velocidad del viento; así como para la presencia de ozono y material particulado, se

realizaron diagramas para verificar gráficamente relaciones lineales y no lineales. Se tomó el total de datos de concentración de microorganismos obtenidos por muestreo y los valores meteorológicos medidos. (Figura 10 y 11).

Posteriormente se realizó una regresión simple para verificar si existe una relación entre las concentraciones de hongos y bacterias con respecto a los parámetros mencionados. En la Tabla 12 se muestran los coeficientes de correlación obtenidos para el muestreo 1 y el muestreo 2.

Tabla 12. Coeficiente de correlación entre concentración de hongos y bacterias con parámetros meteorológicos, ozono y materias particulado ($p=0.05$).

Parámetro	Bacterias	Hongos
Temperatura del aire (°C)	-0.224	-0.044
Presión ambiental (hPa)	-0.074	-0.071
Humedad relativa (%)	0.147	0.357
Dirección del viento (°)	-0.137	-0.107
Velocidad del viento (m/s)	-0.397	-0.356
O ₃ (ppb)	-0.208	-0.455
PM ₁₀ (μg/m ³)	0.177	0.284
PM _{2.5} (μg/m ³)	0.043	0.214

Para las bacterias, los parámetros que tienen una correlación moderada son la temperatura del aire y la velocidad del viento con valores de -0.224 y -0.397. Ambos valores negativos, lo que indica que son inversamente proporcionales: a una menor temperatura del aire habrá una mayor concentración de bacterias. Para los hongos, los valores que indican una mayor correlación, siendo levemente moderada, son la humedad relativa (0.357), la velocidad del viento (-0.356) y la cantidad de ozono en el ambiente (-0.455), siendo la humedad relativa un coeficiente positivo, lo que indica que a mayor humedad relativa mayor concentración de esporas fúngicas.

Otros indicadores de las condiciones climáticas, como la presión y la humedad, también están asociados con el polvo. Se espera que un aumento en la humedad reduzca la presión barométrica debido al aumento en la mezcla de aire y vapor de agua. (Prospero 2006, Akpınar-Elci *et al.* 2015).

La temperatura, la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento son parámetros de importancia que inciden en el establecimiento de los hongos en diferentes ambientes (López 2010)

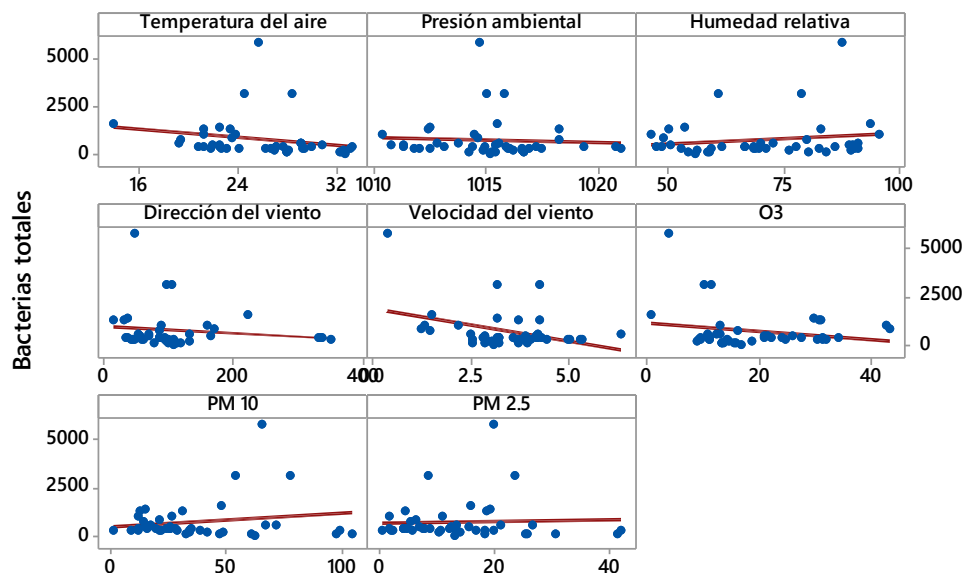


Figura 10. Gráfica de dispersión de bacterias vs. parámetros.

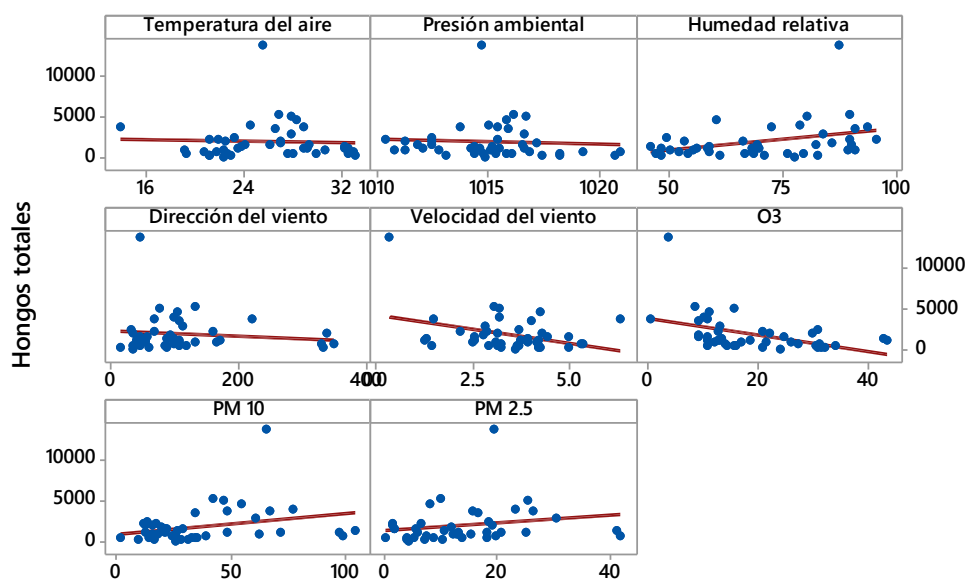


Figura 11. Gráfica de dispersión de hongos vs. parámetros.

4.5.3 Efecto del horario de muestreo en la concentración de hongos y bacterias

Se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y se halló que existen diferencias significativas entre el horario del muestreo y la concentración de esporas fúngicas y de bacterias, obteniendo un valor de $p = 0.004$ y $p = 0.024$ respectivamente, menor a 0.05 para el muestreo 1. No se hallaron diferencias significativas para los hongos y bacterias del Muestreo 2.

En la Figura 12 observamos el gráfico de cajas y bigotes donde vemos las diferencias que hay entre los muestreos 1 y 2 en los horarios de toma de muestras. Hubo mayor concentración de bacterias en la mañana y en la tarde en el muestreo 2 y en la noche hubo mayor en el muestreo 1. Para los hongos hubo mayor concentración en el muestreo 1 en los horarios de mañana y noche y en el muestreo 2 hubo ligeramente mayor concentración en la tarde.

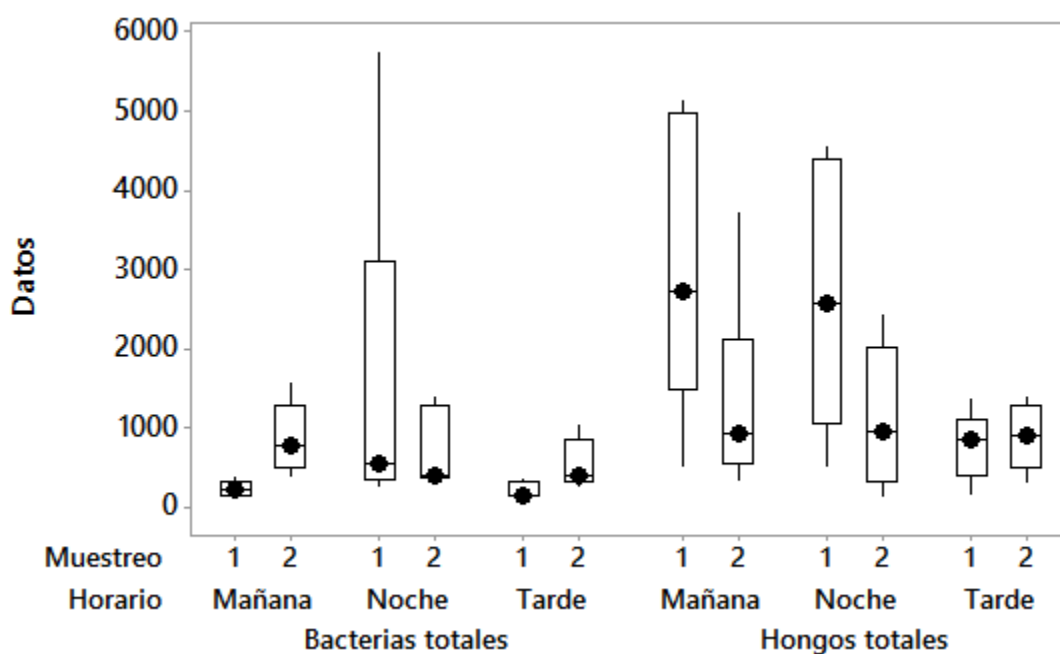


Figura 12. Gráfica de caja de bacterias y hongos totales en muestreos 1 y 2 por horario.

4.5.4 Efecto de la presencia/ausencia de polvos en la concentración de material particulado.

Se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y se halló que existen diferencias significativas entre el evento de muestreo (en presencia y en ausencia de polvos del Sahara) y la concentración de material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} , obteniendo un valor de $p = 0.001$ y $p = 0.000$ respectivamente, menor a 0.05. En la Figura 13 podemos ver que se encontró mayor material particulado, tanto $PM_{2.5}$ como PM_{10} , en los muestreos que se realizaron durante los eventos de polvos del Sahara.

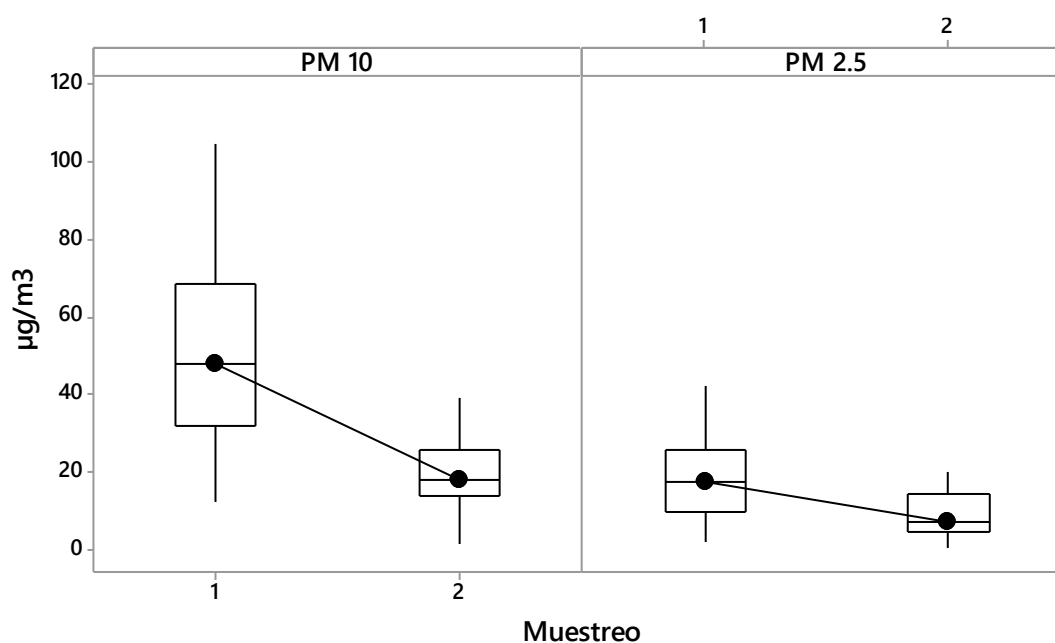


Figura 13. Gráfica de caja de $PM_{2.5}$ y PM_{10} en muestreos 1 y 2.

5. CONCLUSIONES

Los polvos del Sahara alcanzan la península de Yucatán en los meses de junio – julio, según la experiencia y los datos históricos.

Se observó que los parámetros ambientales registrados durante los muestreos no muestran diferencias estadísticamente significativas con la presencia o ausencia de polvos del Sahara con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$).

En comparación con otros estudios, se encontró mayor concentración de esporas fúngicas en el aire en la ciudad de Mérida en ambos periodos (ausencia y presencia de polvos del Sahara) con respecto a los estudios realizados en el Caribe y en el norte de África, lo que puede significar que los microorganismos en el aire de la ciudad no vienen desde África.

En el caso de las bacterias, en eventos de polvos, se encontró mayor concentración en el norte de África, sin embargo, sigue siendo mayor la concentración encontrada en Mérida que en el Caribe. En ausencia de polvos, la concentración bacteriana es mayor en la ciudad de Mérida.

De manera particular, en este estudio, se encontró mayor concentración de esporas fúngicas en el aire los días en que hubo presencia de polvos del Sahara y mayor concentración de bacterias los días en los que no hubo presencia de polvos. El horario en el que se observó un incremento de colonias fue en la noche.

Al comparar este estudio con estudios anteriores realizados en Mérida, Yucatán y en otras partes del mundo se muestra que la cantidad de UFC/m³ encontradas está por debajo de lo registrado previamente en la ciudad, pero por encima de lo encontrado en otras partes del mundo.

Se encontró que las medias de la concentración de bacterias y hongos tienen diferencias estadísticamente significativas entre el muestreo 1 y el muestreo 2.

Los principales géneros de bacterias encontrados resultado de la extracción de ADN son, para el muestreo 1 *Psychrobacter* (37.4%), *Brevundimonas* (25.4%) y *Microbacterium* (9.5%) y para el muestreo 2, *Psychrobacter* (49.7%), *Exiguobacterium* (31.6%) y *Staphylococcus* (3.0%). Otros estudios realizados en presencia de polvos en el Caribe y en África encontraron en común con este estudio *Microbacterium*, *Bacillus*, *Kokuria* y *Arthrobacter*, entre otros.

Los principales géneros encontrados en la extracción de ADN de este estudio fueron *Alternaria*, *Fusarium* y *Conniochaeta* en el muestreo 1, en Barbados y en Mali también se encontró *Alternaria* en presencia de polvos. En ausencia de polvos se encontró en el muestreo 2 en mayor proporción *Hannaella*, *Coniochaeta* y *Fusarium*, y en otros estudios en la ciudad se encontró en mayor proporción *Cladosporium* y *Fusarium*. A nivel de especie, no se encontró ninguna coincidencia con microorganismos encontrados en África en otros estudios.

En los micro cultivos se identificaron 12 géneros de hongos diferentes siendo los más abundantes *Cladosporium spp*, *Chrysosporium spp* y *Aspergillus spp*, de los cuales *Chrysosporium spp* solo fue encontrado en el primer muestreo. también fue el género fúngico más abundante encontrado en otros estudios de caracterización del aire en la ciudad de Mérida, Yucatán.

No encontramos una evidencia estadísticamente significativa para afirmar que los polvos del Sahara tienen una influencia en la microbiota presente en el aire de la ciudad de Mérida, Yucatán, sin embargo, si se encontró evidencia para afirmar que durante los eventos de polvo si hay mayor concentración de material particulado en el aire.

6. RECOMENDACIONES

Para realizar futuros muestreos se proponen las siguientes recomendaciones:

- Para evitar interferencias de contaminantes se propone realizar el muestreo en la costa, a la mayor altura posible.
- Utilizar medios de cultivo no selectivos para estudios de amplio espectro, para tener mayor cantidad y variedad de microorganismos.
- Realizar muestreos simultáneos con grupos de control y con equipos que filtren diferente cantidad de aire para evaluar qué tanto afecta el tiempo de muestreo.
- Realizar ambos muestreos en la misma temporada para disminuir variaciones estacionales de parámetros meteorológicos.

7. REFERENCIAS

Agranovski I. (2010). Aerosols: Science and Technology. Weinheim: Wiley-Vch.

Akpınar-Elci M., Martin F. E., Behr J. G., Diaz R. (2015). Saharan dust, climate variability, and asthma in Grenada, the Caribbean. "International Journal of Biometeorology". Disponible online.

Barnett H., Hunter B. (1998). Illustrated genera of imperfect fungi. Cuarta Edición. APS press. St. Paul, Minesota.

Carlowicz M. (2013). Tracking dust across the Atlantic. Earth Observatory, NASA. Disponible en: <https://earthobservatory.nasa.gov>. Recuperado el 4 de mayo de 2018.

Carlowicz M., Gray E. (2015). Thick dust plumes obscures Africa's coast. Earth Observatory, NASA. Disponible en: <https://earthobservatory.nasa.gov>. Recuperado el 4 de mayo de 2018.

De Hoog G., Guarro J., Gene J., Figueras M. (2000). Atlas of clinical fungi. Segunda edición. CBS (Centraalbureau voor Schimmelcultures) Utrecht, The Netherlands.

Dransfield M. (1966). The fungal air-spora at Samaru, Northern Nigeria. "Transactions of the British Mycological Society", 49(1), 121-132.

Dugan F. (2006). The identification of fungi. APS press. Minesota, USA.

Fröhlich-Nowoisky J., Kampf C. J., Weber B., Huffman J. A., Pöhlker C., Andreae M. O., Pöschl U. (2016). Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions. "Atmospheric Research", 182, 346-376.

Gonçalves C., Alves C., Nunes T., Rocha S., Cardoso J., Cerqueira M., Teinilä K. (2014). Organic characterisation of PM10 in Cape Verde under Saharan dust influxes. "Atmospheric Environment", 425-432.

Goudie A., Middleton N. (2001). Saharan dust storms: nature and consequences. "Earth-Science Reviews", 56, 179-204.

Griffin D. W., Kellogg C. A., Garrison V. H., Lisle J. T., Borden T. C., Shinn E. A. (2003). Atmospheric microbiology in the northern Caribbean during African dust events. "Aerobiología", 19, 143-157.

Griffin D., Kellogg C. (2004). Dust storms and their impact on ocean and human health: dust in Earth's atmosphere. "EcoHealth", 1, 284-295.

Kabatas B., Unal A., Pierce R., Kindap T., Pozzoli L. (2014). The contribution of Saharan dust in PM10 concentration levels in Anatolian Peninsula of Turkey. "Science of the Total Environment", 413-421.

Kellogg C. A., Griffin D. W., Garrison V. H., Peak K., Royal N., Smith R. R., Shinn E. A. (2004). Characterization of aerosolized bacteria and fungi from desert dust events in Mali, West Africa. "Aerobiología", 20, 99-110.

Kellogg C. A., Griffin D. W. (2006). Aerobiology and the global transport of desert dust. "Trends in Ecology and Evolution", 21(11), 638 - 644.

Ki-Hyun K., Ehsanul K., Shamin Ara J. (2017). Airborne bioaerosols and their impact on human health. "Journal of Environmental Sciences".

Lenes J. M., Darrow B. A., Walsh J. J., Prospero J. M., He R., Weisberg R. H., Vargo G.A., Heil C.A. (2008). Saharan dust and phosphatic fidelity: A three-dimensional

biogeochemical model of Trichodesmium as a nutrient source for red tides on the West Florida Shelf. "Continental Shelf Research", 28, 1091-1115

Lenes J. M., Prospero J. M., Landing W., Virmani J., Walsh J. (2012). A model of Saharan dust deposition to the eastern Gulf of Mexico. "Marine Chemistry", 134-135.

López Pacheco M. A. (2008). Evaluación de la calidad microbiológica del aire interior de viviendas de tipo interés medio. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.

López Ponce F. H. (2010). Evaluación espacial de la concentración de esporas fúngicas en el aire de la ciudad de Mérida, Yucatán. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.

Middleton N. (2017). Desert dust hazards: A global review. "Aeolian Research", 24, 53-63.

Perez L., Tobias A., Querol X. (2008). Coarse particles from Saharan dust and daily mortality. "Epidemiology", 19(6).

Poleo B. D., Briceño C. J. (2014). La intrusión de polvo del Sahara y del Sahel en la capa límite atmosférica del Mar Caribe: episodio de agosto 2013. "Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos", 13(2).

Prospero J. M. (2001). African dust in America. "Geotimes", 11, 24-27.

Prospero J. M., Blades E., Mathison G., Naidu R. (2005). Interhemispheric transport of viable fungi and bacteria from Africa to the Caribbean with soil dust. "Aerobiologia", 21(1), 1-19.

Prospero J. M. (2006). Saharan dust impacts and climate change. "Oceanography", 19(2).

Prospero J. M., Mayol-Bracero O. L. (2013). Understanding the transport and impact of african dust on the caribbean basin. "Bulletin of American Meteorological Society", 94(9), 1329-1337.

Rojas-Herrera R., Narváez-Zapata J., Zamudio-Maya M., Mena-Martínez M. (2008). A Simple Silica-based Method for Metagenomic DNA Extraction from Soil and Sediments. "Molecular Biotechnology", 40, 13-17.

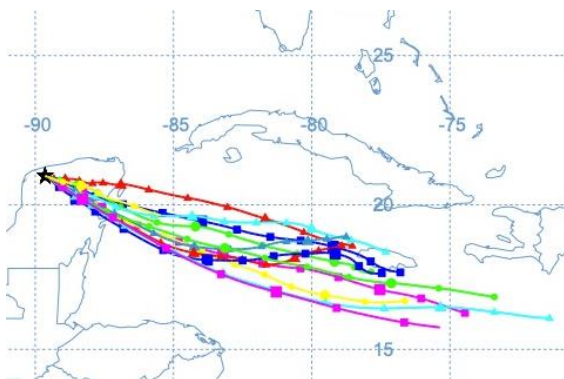
Talbot R. W., Harriss R., Browell E. V., Gregory G., Sebacher D., Beck S. (1986). Distribution and Geochemistry of Aerosols in the Tropical North Atlantic Troposphere: Relationship to Saharan Dust. "Journal of Geophysical Research Atmospheres", 91, 5173-5182.

Weir-Brush J. R., Garrison V. H., Smith G. W., Shinn E. A. (2004). The relationship between gorgonian coral (Cnidaria: Gorgonacea) diseases and African dust storms. "Aerobiología", 20, 119-126.

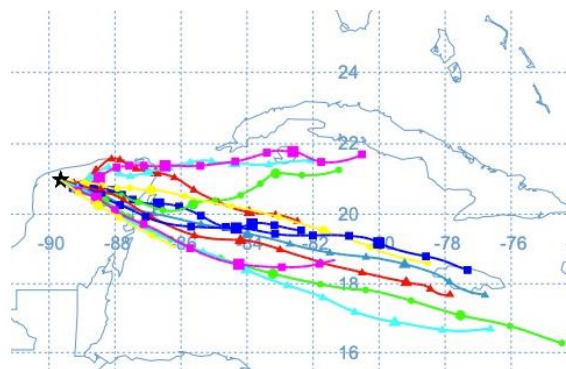
Yoo K., Lee T. K., Choi E. J., Yang J., Kumar Shukla S., Hwang S., Park J. (2017). Molecular approaches for the detection and monitoring of microbial communities in bioaerosols: A review. "Journal of Environmental Sciences", 51, 234 - 247.

8. ANEXOS

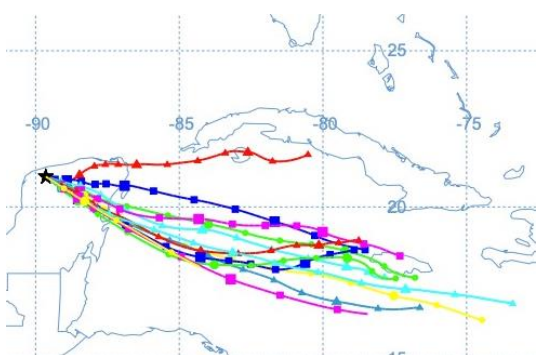
Anexo 1. Trayectorias de retroceso a 72 horas realizadas con el NOAA HYSPLIT MODEL partiendo desde las coordenadas 20.98N 89.64W (Facultad de Química UADY) en temporada de presencia de polvos (junio – julio 2018). Se observan trayectorias a diferentes alturas entre 10 y 100 m.



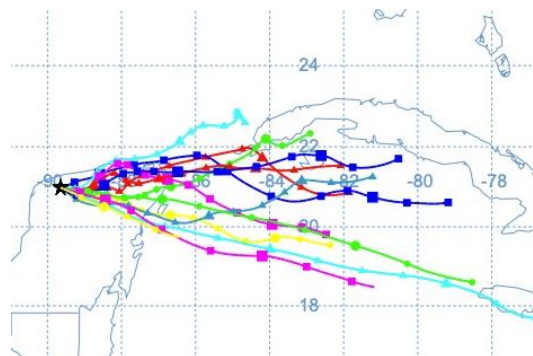
28 de junio de 2019, 12:00.



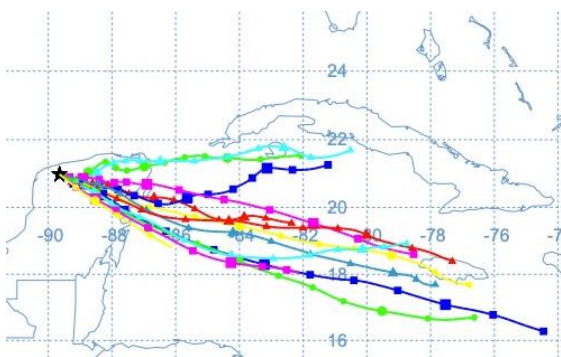
3 de julio de 2019, 12:00.



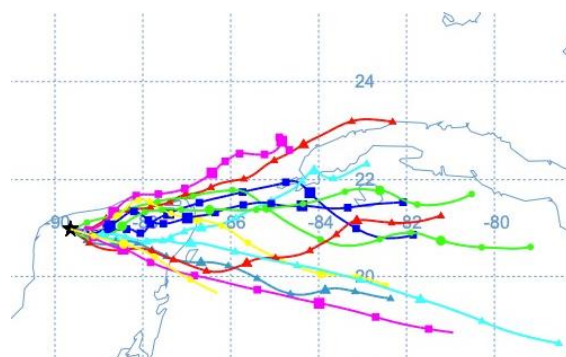
29 de junio de 2019, 12:00.



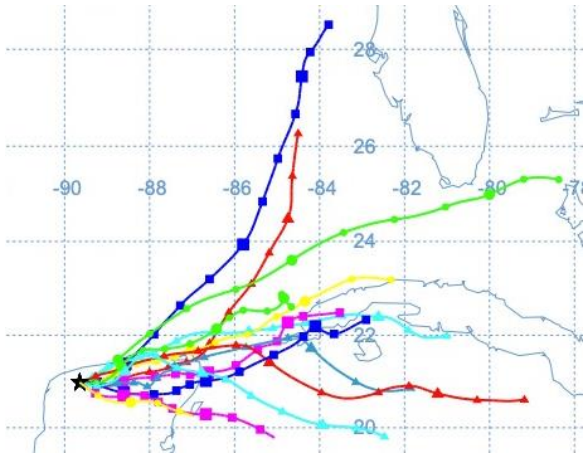
7 de julio de 2019, 12:00.



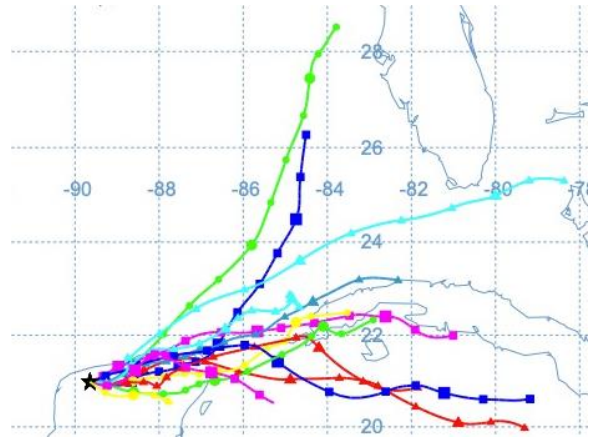
2 de julio de 2019, 12:00.



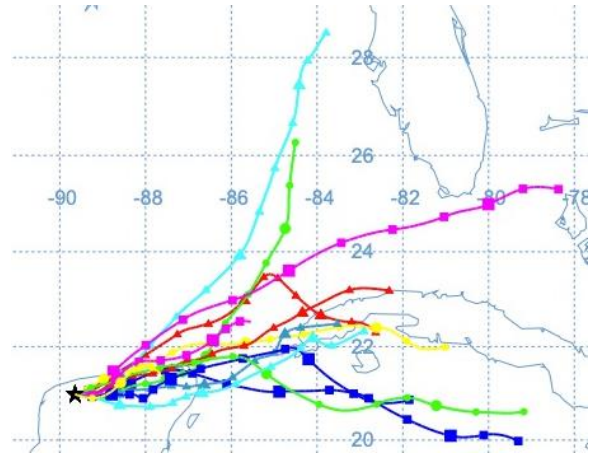
8 de julio de 2019, 12:00.



13 de julio de 2019, 12:00.

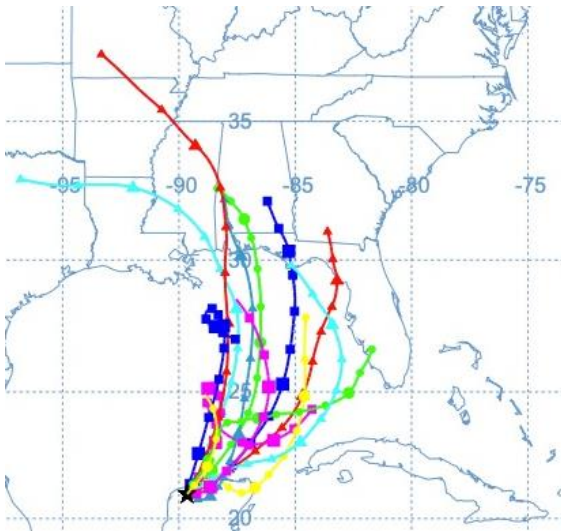


14 de julio de 2019, 12:00.

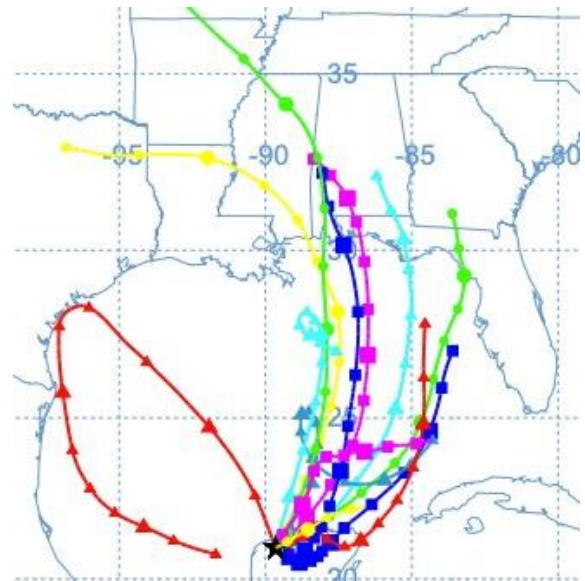


15 de julio de 2019, 12:00

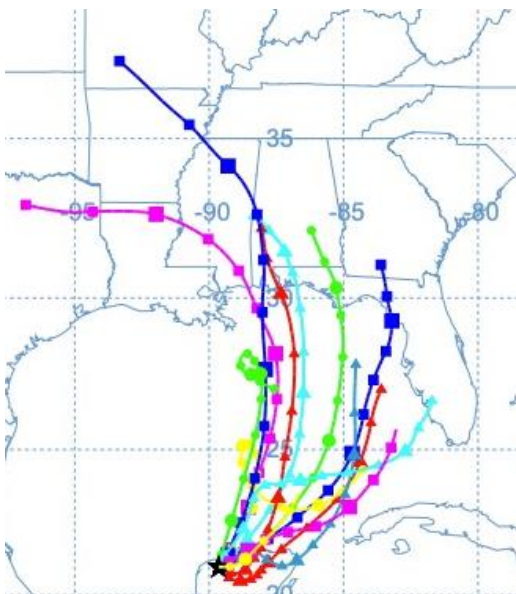
Anexo 2. Trayectorias de retroceso a 72 horas realizadas con el NOAA HYSPLIT MODEL partiendo desde las coordenadas 20.98N 89.64W (Facultad de Química UADY) en temporada de ausencia de polvos (enero 2019). Se observan trayectorias a diferentes alturas entre 10 y 100 m.



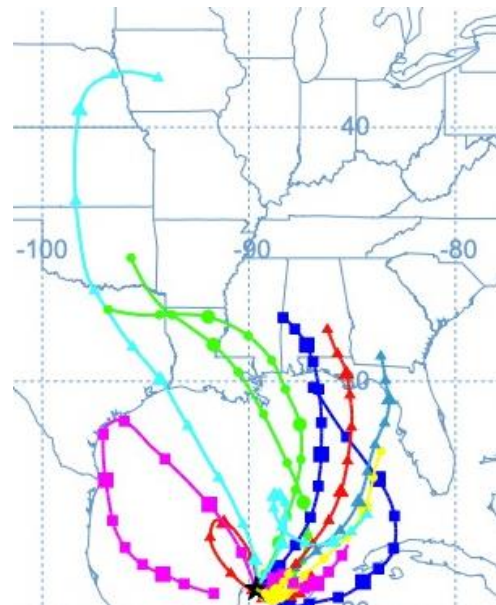
18 de enero de 2019, 12:00.



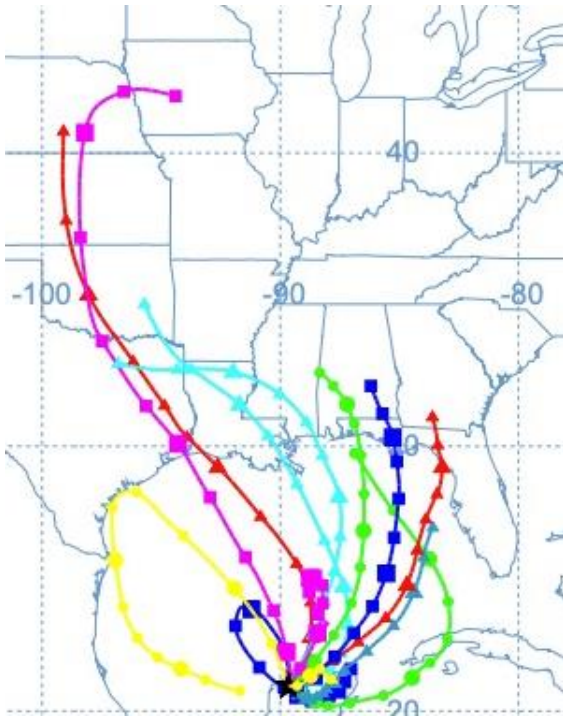
20 de enero de 2019, 12:00.



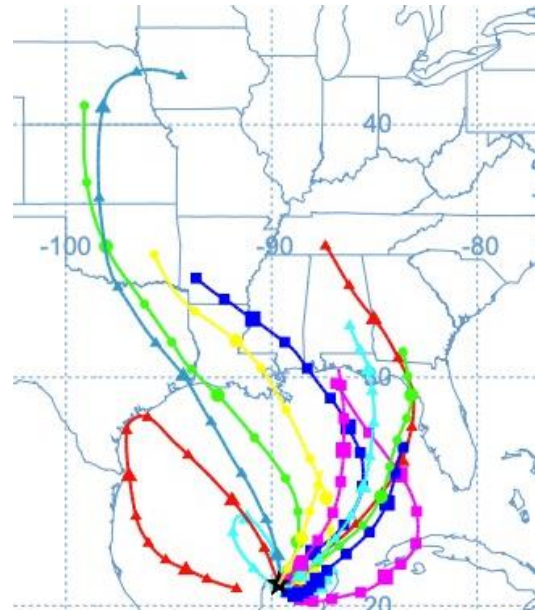
19 de enero de 2019, 12:00.



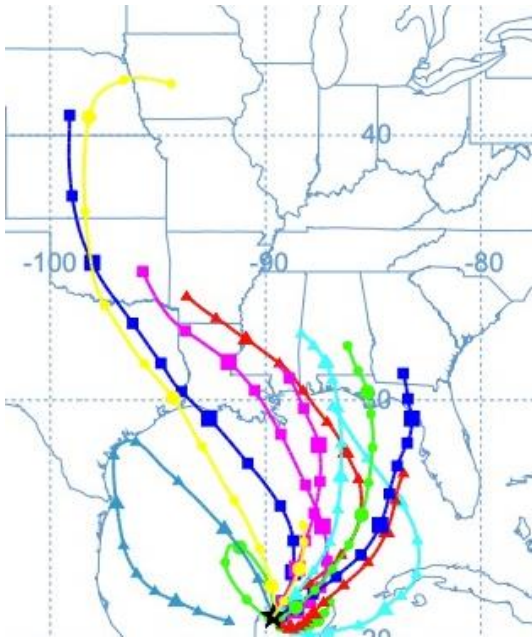
24 de enero de 2019, 12:00.



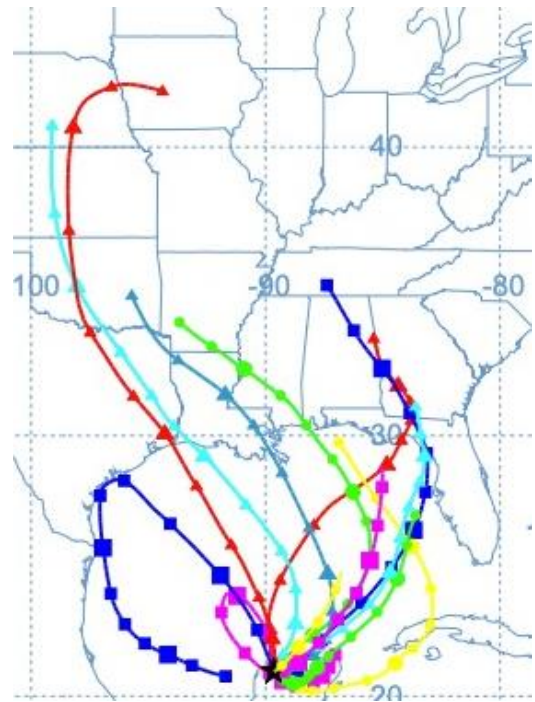
25 de enero de 2019, 12:00.



27 de enero de 2019, 12:00.



26 de enero de 2019, 12:00.



28 de enero de 2019, 12:00.