



UNIVERSIDAD DEL TURABO
Escuela de Ciencias y Tecnología
Programa Graduado en Ciencias Ambientales

PROGRAMA GRADUADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

12 de marzo de 2008
Fecha de Defensa

Recomendamos que la tesis de **Eric Iván Rivera Ortiz**
titulada

**ESTUDIO DE LÍQUENES COMO INDICADORES DE LOS NIVELES DE
CONTAMINACIÓN EN EL PUEBLO DE GUAYAMA, PUERTO RICO**

sea aceptada como requisito parcial para el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
CON ESPECIALIDAD EN MANEJO AMBIENTAL**

Sharon A. Cantrell, Ph.D.
Asesora de Investigación

David Colón Arroyo, M.S.
Miembro

Raúl Rodríguez, M.S.
Miembro

Angel Rivera Collazo, Ph. D.
Decano

Fred C. Schaffner, Ph.D.
Decano Asociado, Estudios Graduados
e Investigación

UNIVERSIDAD DEL TURABO

ESTUDIO DE LÍQUENES COMO INDICADORES DE LOS NIVELES DE
CONTAMINACION EN EL PUEBLO DE GUAYAMA,
PUERTO RICO

Por

Eric Iván Rivera Ortiz
B.S., Química, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Cayey

TESIS

Escuela de Ciencias y Tecnología
Universidad del Turabo
Requisito parcial para el grado de
Maestría en Ciencias

en Ciencias Ambientales
(Especialidad en Manejo Ambiental)

Gurabo, Puerto Rico

mayo, 2008

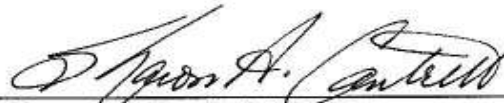
UNIVERSIDAD DEL TURABO

Una tesis sometida como requisito parcial para el grado de
Maestría en Ciencias

**Estudio de Líquenes como Indicadores de los Niveles de
Contaminación en el Pueblo de Guayama,
Puerto Rico**

Eric Iván Rivera Ortiz

Aprobado:



Sharon A. Cantrell, Ph.D.
Asesora de Investigación



David Colón Arroyo, M.S.
Miembro



Raúl Rodríguez, M.S.
Miembro

©Copyright 2008

Eric Iván Rivera Ortiz. Todos los Derechos Reservados

Agradecimientos

Agradezco grandemente a Dios por haberme permitido completar este trabajo. A mi madre por haberme respaldado durante toda su vida, pues sin su colaboración y apoyo no hubiera podido realizar esta meta.

Por último y no menos importante deseo agradecer a cada uno de los miembros del comité de tesis. En especial a la Dra. Cantrell quien desde el momento en que supo el tema de estudio de mi tesis me mostró su disposición. Gracias a cada uno de ustedes, miembros de mi comité de tesis, pues nunca vacilaron en brindarme su ayuda y apoyo incondicional.

Tabla de Contenido

	página
Lista de Tablas	v
Lista de Figuras	vi
Lista de Apéndices	vii
<i>Abstract</i>	x
Resumen	xii
Capítulo Uno. Introducción	1
Hipótesis.....	4
Objetivos.....	4
Capítulo Dos. Revisión de Literatura	6
Capítulo Tres. Metodología.....	12
Capítulo Cuatro. Resultados.....	17
Capítulo Cinco. Discusión.....	35
Capítulo Seis. Conclusión.....	39
Literatura Citada	41
Apéndices	44

Lista de Tablas

	página
Tabla 3.01. Determinación de la calidad del aire basado en el tipo de liquen presente o ausente y su sensibilidad a la contaminación ambiental.....	15
Tabla 4.02. Cantidad y distribución de frecuencias de vehículos que transitan por las principales carreteras del pueblo de Guayama, P.R.	19
Tabla 4.03. Frecuencia de los diferentes tipos de líquenes encontrados en los 12 árboles analizados por parcela según se dividió el pueblo de Guayama, P.R.....	28

Lista de Figuras

	página
Figura 3.01. División del pueblo de Guayama en parcelas y sus barrios.....	13
Figura 4.02. Árbol sin presencia de líquenes.....	20
Figura 4.03. Árbol con líquenes del tipo crustoso	21
Figura 4.04. Árbol con líquenes del tipo folioso	22
Figura 4.05. Árbol con líquenes del tipo fruticuloso	23
Figura 4.06. Árbol con líquenes del tipo filamentoso	24
Figura 4.07. Distribución de los tipos de líquenes encontrados en las doce (12) parcelas en las que se dividió el pueblo de Guayama, P.R.	25
Figura 4.08. Frecuencia porcentual (fp) de los diferentes tipos de líquenes encontrados en los (12) árboles analizados por parcela según se dividió el pueblo de Guayama P.R.....	29
Figura 4.09. Número de árboles por parcela mostrando presencia o ausencia de uno o más tipos de líquenes	30
Figura 4.10. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes a los años 2001 – 2007.....	33

Lista de Apéndices

	página
Apéndice 1. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 1.....	44
Apéndice 2. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 2.....	45
Apéndice 3. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 3.....	46
Apéndice 4. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 4.....	47
Apéndice 5. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 5.....	48
Apéndice 6. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 6.....	49
Apéndice 7. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 7.....	50
Apéndice 8. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 8.....	51
Apéndice 9. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 9.....	52
Apéndice 10. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 10.....	53
Apéndice 11. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 11.....	54
Apéndice 12. Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 12.....	55
Apéndice 13. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2001	56
Apéndice 14. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2001	57
Apéndice 15. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2002	58
Apéndice 16. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2002	59
Apéndice 17. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2003	60
Apéndice 18. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2003	61

	página
Apéndice 19. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2004	62
Apéndice 20. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2004	63
Apéndice 21. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2005	64
Apéndice 22. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2005	65
Apéndice 23. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2006	66
Apéndice 24. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2006	67
Apéndice 25. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2007	68
Apéndice 26. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2007	69
Apéndice 27. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes a los años 2001 - 2007.....	70
Apéndice 28. Niveles de SO ₂ registrados por la JCA correspondientes a los años 2001 - 2007.....	71

Abstract

Eric Iván Rivera Ortiz (BS., Chemistry)

Study of Lichens as Indicators of Pollution Levels in the Town of Guayama,

Puerto Rico. (June/2008)

Abstract of a master thesis at the *Universidad del Turabo*.

Thesis supervised by Professor Sharon A. Cantrell, Ph.D.

No. of pages in text: 40

For many years humanity has been affected by the levels of air pollution that we breathe every day, this is why pollution levels are monitored by government agencies. Carbon Dioxide (CO₂) and Sulfur Dioxide (SO₂) are among the best known contaminants, toxics and harmful to the environmental. In Puerto Rico, the *Junta de Calidad Ambiental* established monitoring stations to register the levels of these toxics, but these systems are too expensive, and it is for this reason that it would be helpful to develop alternate monitoring methods. In the case of environmental pollution with SO₂, lichens can be an excellent tool to monitor the environmental pollution levels of aerial SO₂. Lichen is a mutuality relation, between a fungus (mycobiont) and an alga (photobiont). Due to the susceptibility of these organisms to air pollution, they are considered excellent environmental indicators. It is my interest to establish a possible relation between the lichens presence and the air pollution levels in the town of

Guayama, Puerto Rico. The town was divided in 12 parcels; twelve trees at least were studied per parcel. The kind of lichens found were observed and tabulated by tree and the pollution level was based in the kind of lichens found. The recorded SO₂ levels in this zone were obtained from the *Junta de Calidad Ambiental*. Fifty three percent (53%) of the lichens found were *Crustose*, seventeen percent (17%) *Foliose*, one percent (1%) *Fruticose* and four percent (4%) *Filamentous*. Absence of lichens was observed in twenty five percent (25%) of the trees studied. The northern area of Guayama is the area where the most diversity of lichens is observed. The presence of Crustose lichens or the absence of lichens was observed in the southern, central, eastern and western areas of the town. For this reason the air quality in the town of Guayama can be categorized as regular.

Resumen

Eric Iván Rivera Ortiz (BS., Chemistry)

Estudio de Líquenes como Indicadores de los Niveles de Contaminación en el

Pueblo de Guayama, Puerto Rico. (Junio/2008)

Resumen de una Tesis de Maestría de la Universidad del Turabo.

Tesis supervisada por la Profesora Sharon A. Cantrell, Ph.D.

Núm. de páginas en el texto: 40

Durante años la humanidad entera se ha visto amenazada por los niveles de contaminación en el aire que todos respiramos a diario. Es por ello que las agencias gubernamentales se dan a la tarea de monitorear los niveles de contaminantes en la atmósfera. Entre los contaminantes más conocidos, tóxicos y dañinos al medio ambiente se encuentran el dióxido de carbono (CO₂) y el dióxido de azufre (SO₂). En Puerto Rico, la Junta de Calidad Ambiental ha establecido estaciones de monitoreo para registrar los niveles de estos tóxicos. Este sistema es sumamente costoso, por lo que sería beneficioso el desarrollar métodos alternos. En el caso de la contaminación ambiental por SO₂, los líquenes pueden ser una excelente herramienta para monitorear sus niveles en el aire. Un líquen es una relación simbiótica de mutualismo, entre un hongo (micobionte) y un alga (fotobionte). Debido a la susceptibilidad de estos organismos a la contaminación del aire, son considerados excelentes indicadores ambientales. Es mi interés establecer si existe una relación entre la

presencia de líquenes y los niveles de contaminación del aire en el pueblo de Guayama, Puerto Rico. El pueblo de Guayama se dividió en 12 parcelas. Se estudiaron al menos doce árboles por parcelas. Los tipos de líquenes encontrados fueron observados y tabulados por árbol. El nivel de contaminación estuvo basado en el tipo de líquen encontrado. Se obtuvo de la Junta de Calidad Ambiental los niveles de SO₂ registrados para esta zona. El 53% de los líquenes encontrados fueron del tipo crustoso, un 17% del tipo folioso, un 1% del tipo fruticuloso y un 4% del tipo filamentoso. También se observó la ausencia de líquenes en un 25% de los árboles estudiados. El área norte del pueblo de Guayama es la zona con mayor diversidad de líquenes. En las zonas sur, central, este y oeste prevaleció la presencia de líquenes del tipo crustoso o la ausencia de líquenes. Por lo que se categorizó la calidad del aire en el pueblo de Guayama, Puerto Rico como regular.

Capítulo Uno

Introducción

En un ecosistema los organismos interactúan entre sí de diferentes maneras con diversos propósitos. Es en estos casos donde el beneficio mutuo motiva a las especies a convivir en un mismo ecosistema, dando como resultado relaciones en las que las especies se favorecen. A este tipo de relación se le conoce como mutualismo. Esta es una relación simbiótica en la cual ambas especies se benefician como producto de la convivencia. Los líquenes son un ejemplo de este tipo de relación (Pascual y Durán, 1997, Bargagli, 2002).

Los líquenes son una asociación de un hongo y un alga o una cianobacteria. Estos están íntimamente relacionados entre sí y se comportan y reproducen como un organismo único e independiente. El hongo se encarga de proteger al alga de las radiaciones solares, proveerle agua y sales minerales. El alga (o cianobacteria) mediante el proceso de fotosíntesis proporciona al hongo alimentos y vitaminas (Pascual y Durán, 1997). El organismo fotosintético conocido como fotobionte es el alga (o cianobacteria). El micobionte (hongo) es generalmente un ascomiceto, con excepción de algunos líquenes tropicales donde el hongo simbionte es un basidiomiceto (Pascual y Durán, 1997). Con relación a su nomenclatura, los nombres otorgados a los líquenes se derivan principalmente del tipo de hongo. Esto es debido a la diversidad de hongos que componen los líquenes versus los dos tipos de algas que contribuyen a la

formación del líquen. No existe evidencia de la proporción del hongo en el líquen (Simonson, 1994).

Los líquenes son excelentes indicadores ambientales por su susceptibilidad a contaminantes ambientales, viéndose particularmente afectados por ambientes altamente contaminados como lo son las grandes ciudades y sectores altamente industrializados. El dióxido de carbono (CO_2) y el dióxido de azufre (SO_2) que se generan en estos lugares como efecto de la quema de materia fósil afectan grandemente la vida de los líquenes (Conti, 2001, Castello, 2005).

La contaminación ambiental es definida en términos de concentraciones por encima de los niveles establecidos por la ley (Hawksworth, et al, 2005). El estudio de los líquenes como posibles indicadores ambientales comenzó durante el siglo XIX, pero no fue hasta mediados del siglo XX que se identificó al SO_2 como el principal contaminante atmosférico que afecta el crecimiento, distribución y salud de los líquenes. Esto aumentó grandemente la cantidad de trabajos y escritos sobre los líquenes como indicadores ambientales (Hawksworth, et al, 2005). Actualmente hay más de 2,000 trabajos publicados sobre el monitoreo de los líquenes y su aportación a la indicación de niveles de contaminación (Neitich, 2003). Estos trabajos incluyen varios libros e inclusive una serie de literatura líquénica publicada en "The Lichenologist" (1974 – 2000), (Hawksworth, et al, 2005).

Otros factores que han sido identificados como grandes contribuyentes al deterioro de los líquenes y su biodiversidad lo son el manejo de los bosques y la

utilización de los suelos (Thompson, 2006), ya sea con fines agrícolas, de viviendas o industriales. Cambios climáticos, tales como, estaciones de sequía, lluvia o fenómenos atmosféricos como los huracanes, pueden afectar a los líquenes.

La región de Guayama se encuentra en la zona sur de Puerto Rico, una de las zonas más árida y adversamente afectada durante la época de verano por incendios. Los incendios destruyen por completo los ecosistemas, los lugares de crecimiento de los líquenes y su diversidad (Misty, 1998). Esto puede afectar la caracterización de las especies y su uso como indicadores ambientales ya que resulta sumamente conflictivo el determinar las causas del deterioro mismo de las especies de líquenes.

Se seleccionó estudiar el pueblo de Guayama debido a su variedad climática y que cuenta con una estación de monitoreo de SO_2 establecida allí por la Junta de Calidad Ambiental (en adelante JCA). En este trabajo de investigación se determinarán los tipos de líquenes en el pueblo de Guayama, Puerto Rico y de este modo el nivel de contaminación del pueblo al comparar los resultados obtenidos con los datos de los niveles de SO_2 provistos por la JCA. Con la información recopilada se identificarán en un mapa los lugares más contaminados y los menos contaminados del pueblo basado en los tipos de líquenes encontrados.

HIPOTESIS

Hipótesis nula - La calidad del aire en el pueblo de Guayama es excelente o muy bueno por la gran diversidad de líquenes encontrados.

Hipótesis alterna - La calidad del aire en el pueblo de Guayama es pobre o regular por la poca diversidad de líquenes o por la abundancia de líquenes del tipo crustoso.

La susceptibilidad de los líquenes a la contaminación ambiental varía entre los diferentes tipos de líquenes. En lugares altamente contaminados abundan los líquenes tipo crustoso o no hay presencia de líquenes (Murphy, 1999) y en lugares donde la contaminación ambiental es bien baja abundan los líquenes filamentosos y una mayor diversidad (Murphy, 1999).

OBJETIVOS

La meta de este estudio es determinar los tipos de líquenes y su distribución en el pueblo de Guayama, Puerto Rico y comparar esta información con los datos de los niveles de SO₂ de la JCA. Para lograr nuestra meta procederemos con los siguientes objetivos:

1. Realizar un censo de los diferentes tipos de líquenes en el pueblo de Guayama.
2. Determinar el nivel de contaminación de SO₂ en el pueblo de Guayama, Puerto Rico y basado en los datos obtenidos de la JCA, estimar la diversidad y los tipos de líquenes.
3. Determinar cuál tipo de líquen en promedio abunda en mayor cantidad en el pueblo de Guayama, Puerto Rico.

Capítulo Dos

Revisión de Literatura

Por años los científicos se han preocupado por diversos problemas que afectan los seres vivos y muy en particular la biodiversidad. De entre las situaciones que más afectan a los organismos vivos se encuentra la contaminación ambiental. Hoy en día los centros urbanos altamente poblados tienen un progresivo deterioro de la calidad del aire. Por tal razón los niveles de contaminación en la atmósfera necesitan ser monitoreados y controlados para salvaguardar el ambiente y la salud de los seres vivos.

Actualmente existen estaciones para monitorear la contaminación ambiental en el aire. Este método es sumamente costoso por lo sofisticado del equipo utilizado. Con el fin de lograr este propósito, las agencias pertinentes instalan en las grandes ciudades estaciones de monitoreo las cuales proveen métodos válidos y datos para medir los niveles de sustancias tóxicas en el aire. Pero los datos colectados no son suficientes como para crear mapas a gran escala sobre la calidad del aire. En Puerto Rico, la JCA determina los niveles de contaminación con SO_2 mediante la instalación de estaciones de monitoreo en diversos sectores de la isla. Existen grandes esperanzas de que los científicos logren desarrollar o hasta descubrir nuevos métodos para lograr monitorear los niveles de contaminación en el aire sin tener que incurrir en los altos costos que los métodos actuales implican.

Actualmente se conoce un método provisto por la naturaleza el cual podría ser utilizado en Puerto Rico. El mismo es capaz de monitorear los niveles de contaminación en el aire por sustancias tóxicas y su variación en el tiempo y podría ayudar a construir un mapa de niveles de contaminación en la isla. El monitoreo de la biodiversidad de líquenes y las condiciones en que se encuentran podrían ser utilizadas como herramientas para determinar la presencia de contaminación ambiental en el aire. Los líquenes son sensitivos a los niveles y cambios de contaminación en el aire y por lo tanto, son considerados como bioindicadores parecido a las polillas en Colorado (Simonson, 1994). Esta sensibilidad se deriva de su habilidad para absorber los contaminantes químicos del aire y del agua de lluvia, y del delicado balance en la simbiosis del liquen. Si un contaminante afecta uno de los componentes del liquen –por ejemplo, dañando la habilidad fotosintética del alga – la relación rápidamente se rompe y se muere el liquen (Brodo, 2001).

Las razones por las cuales los líquenes están siendo utilizados con tanto éxito en el monitoreo de los niveles de contaminación en el aire con dióxido de azufre (SO₂) son (Hawksworth, et al, 2005):

1. Estos se encuentran en aumento en muchos centros urbanos de países altamente desarrollados debido a la disminución de los niveles de dióxido de azufre (SO₂) en el aire de las ciudades.
2. No poseen una membrana protectora por lo que absorben grandes cantidades de nutrientes y contaminantes a través de su superficie.

3. Por su naturaleza mutualista, si alguno de los miembros que componen el organismo se ve afectado, ambos organismos mueren.
4. Tienen un tiempo de vida extenso, lo que los expone a periodos largos de contaminación, por lo que nos proveen una imagen cronológica y no de las variaciones ocasionales del medio ambiente.
5. Sobreviven durante las diversas estaciones del año, por lo que pueden ser muestreados y estudiados durante todo el año.

Los líquenes son seres vivos pertenecientes al Reino Fungi, que por su pequeño tamaño y su extraña fisonomía pasan generalmente inadvertidos y a menudo son confundidos con otros grupos vegetales. Los líquenes son una simbiosis entre un micobionte (hongo) y un fotobionte (un organismo que lleva a cabo fotosíntesis). El fotobionte que se encuentra en los líquenes puede ser un alga (o cianobacteria). El hongo es generalmente un ascomiceto, con excepción de algunos líquenes tropicales donde el hongo simbionte es un basidiomiceto (Pascual y Durán, 1997). El alga es autotrófica y por fotosíntesis suministra las azúcares al hongo, y en compensación el hongo le proporciona agua, protección y minerales disueltos. De esta forma, un liquen es una asociación estable y permanente capaz de mantenerse a sí misma. El crecimiento de los líquenes es extraordinariamente lento, jugando un papel muy importante en ecosistemas con condiciones ambientales extremas (Simonson, 1994, Bačkor, 2005).

Los líquenes presentan dos tipos de reproducción: sexual y asexual. La reproducción asexual tiene lugar por medio de la fragmentación del talo. La pérdida de agua por disecación hace que el talo se vuelva frágil, rompiéndose

por el viento, facilitando la dispersión de los fragmentos. Cada fragmento puede originar un nuevo talo en otro lugar. Esta es la forma de reproducción más común entre los líquenes (Pascual y Durán, 1997). La reproducción sexual está a cargo del hongo, que desarrolla unos ascocarpos ya sea en forma de apotecio o de peritecio. Los apotecios en forma de disco abierto, se presentan sobre el talo, mientras que los peritecios se hunden en él (Pascual y Durán, 1997).

Los líquenes tienen un interés práctico y son utilizados para diversas finalidades. Estos producen antibióticos que inhiben las bacterias *Gram-positivas*, mohos y virus. También han sido usados tradicionalmente como materia prima para la obtención de tintes naturales, preservativos para la perfumería, etc. Desde el punto de vista ecológico y ambiental, son utilizados como bioindicadores de contaminación. Los líquenes, debido a su particular sensibilidad a las impurezas del aire, son capaces de absorber los nutrientes y contaminantes en forma gaseosa o disuelta en agua de lluvia y almacenarlos. Esto permite que los mismos pueden emplearse para detectar la contaminación atmosférica y muy particularmente la presencia de compuestos químicos, tales como: SO₂, HF, HCl y NO_xO₃ (Bargagi, 2002).

Los diferentes tipos de líquenes se clasifican en cuatro grupos principales de acuerdo a sus características físicas, su comportamiento fisiológico y su sensibilidad a los contaminantes.

Estos son:

Crustosos – Estos tienen forma de costra y se incrustan en el sustrato.

Se encuentran en lugares bastante contaminados.

Foliosos – Estos tienen forma de hoja. Se encuentran en lugares poco contaminados.

Fruticulosos – Estos tienen forma de fruto o talo. Se encuentran en lugares muy poco contaminados.

Filamentosos – Estos tienen forma de filamentos semejantes a una cabellera. Se encuentran en lugares sin contaminación.

Dentro del grupo de los fruticulosos el género más sensible a la contaminación ambiental lo es *Teloschistes*. Mientras que en el grupo de los filamentosos están *Usnea* y *Ramalina*, siendo *U. longissima* uno de los líquenes más sensitivos a la contaminación ambiental (Hawksworth, et al, 2005). Los lugares donde existe *U. longissima* son considerados como ambientes con el aire libre de contaminación (Pinho, 2004).

Estas particularidades hacen a los líquenes altamente sensitivos a cambios ambientales y contaminantes atmosféricos por lo que son frecuentemente estudiados como biomonitores de diversos ecosistemas (Johansson, 2003). En la mayoría de los casos estos organismos pueden ser estudiados por no-especialistas que pueden realizar un estudio sencillo con un mínimo de trabajo de campo. Esto da como resultado la utilización de los líquenes como bioindicadores en diversas situaciones tales como: lluvia ácida, contaminación por metales pesados, contaminación aérea por dióxido de azufre, radiación UV, niveles en el agua, fuego, entre otros (Hawksworth, et al, 2005, Munzi, 2007).

Respecto a la recuperación de la calidad atmosférica, una vez disminuyen los niveles de dióxido de azufre en el ambiente, las poblaciones de líquenes reaparecen poblando nuevamente el ambiente. Este fenómeno ha sido comprobado en grandes ciudades como lo es el caso de la ciudad de Londres. Desde que en el año 1983 dejó de funcionar una central térmica, se ha observado un aumento en la población de diversas especies de líquenes en sus cercanías y se han observado especies no vistas en el área desde hace más de 200 años (Hawksworth, et al, 2005). Sin embargo, existen muy pocos estudios sobre la repoblación o regeneración ambiental en países tropicales (Sarpunkaew, 2007).

Capítulo Tres

Metodología

El área de estudio fue el pueblo de Guayama. Este pueblo forma parte de uno de los 78 municipios que componen la isla de Puerto Rico. El pueblo de Guayama se encuentra en la zona sur de la isla. Este pueblo se caracteriza por un área llana rodeada por el pueblo de Cayey al norte (zona forestal), el mar Caribe al sur (zona costera), los pueblos de Patillas y Arroyo al este y el pueblo de Salinas al oeste (zonas secas). Guayama tiene una población de aproximadamente 41,558 habitantes. Este pueblo cuenta con los siguientes barrios: Algarrobo, Caimital, Carite, Carmen, Guamaní, Jobos, Machete, Palmas, Pozo Hondo y el Pueblo (en donde se encuentra la parte urbana). Todos estos barrios que componen el pueblo de Guayama comprenden en su totalidad un área de 169 km² (Rivera, 2004).

El área de 169 km² que comprende el pueblo de Guayama fue el área de estudio. Esta fue dividida en doce (12) parcelas y las parcelas cubrieron las áreas indicadas en el mapa adjunto (Figura 3.01). Esto permitió cubrir todas las secciones del pueblo que son representativas del mismo, tomando en consideración variantes como lo son las áreas urbanas, rurales e industriales.

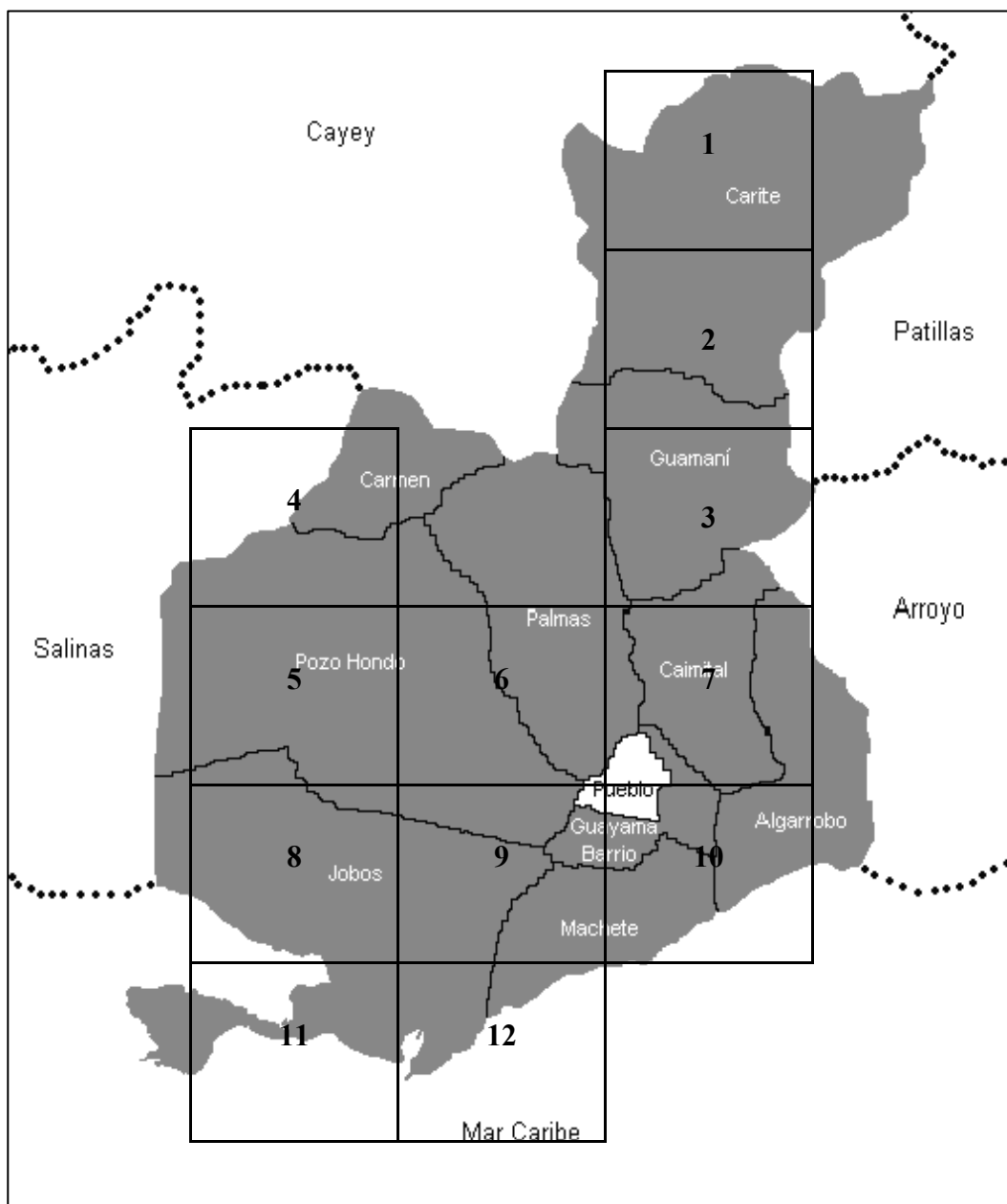


Figura 3.01. División del pueblo de Guayama en parcelas y sus barrios. Se dividió el pueblo de Guayama, Puerto Rico en doce (12) parcelas. Cubriendo todas las secciones del pueblo que son representativas del mismo, tomando en consideración variantes como áreas urbanas, rurales e industriales.

En cada parcela se eligieron doce (12) árboles frondosos, aislados, bien iluminados, verticales, de buenas dimensiones (entre 70 a 122 mm de circunferencia) y representativos de toda la parcela (Pinho, 2004). Los doce (12) árboles seleccionados fueron identificados de la siguiente forma: “parcela No.(x) Barrio (XXX), Guayama, Puerto Rico, árbol No.(x)”.

En cada árbol se observaron y se tomaron muestras de los tipos de líquenes y se clasificaron en crustosos, foliosos, fruticolosos y filamentosos. Los datos fueron tabulados y la información es presentada en los apéndices 1 - 12.

Se obtuvo de la JCA los niveles de SO_2 para el pueblo de Guayama de los últimos siete (7) años. Estos datos son recopilados mensualmente por parte de la JCA en su estación de monitoreo la cual se encuentra en la oficina de vehículos hurtados del Departamento de la Policía en la carretera No.3 hacia el pueblo de Salinas, barrio Jobos, Guayama. Con esta información se construyó una gráfica para ilustrar los niveles de SO_2 de los años 2001 – 2007 (Gobierno de los Estados Unidos de América, 2007). En adición, información sobre cantidad de vehículos, densidad de carreteras y distribución de las industrias en el pueblo de Guayama fue obtenida del Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP) (Gobierno de Puerto Rico, 2006).

A base de la diversidad y distribución de los líquenes y su comparación con los niveles de SO_2 , cantidad de vehículos, densidad de carreteras y distribución de las industrias, se determinó la calidad del aire para cada parcela utilizando la Tabla 3.01 y se construyó un mapa (Neitich, 2003; Pinho, 2004, Kinnunen, 2003).

Tabla 3.01. Determinación de la calidad del aire basado en el tipo de líquen presente o ausente y su sensibilidad a la contaminación ambiental (Rivera, 2008).

Tipo de líquen	Calidad del Aire
Ausencia de líquen	Pobre
Crustosos	Regular
Foliosos	Bueno
Fruticolosos	Muy Bueno
Filamentosos	Excelente

Realizando un análisis descriptivo con los datos provistos por el DTOP se calculó el total y la distribución de frecuencias relativa y porcentual de la cantidad de vehículos que transitan por las principales carreteras del pueblo de Guayama, P.R. Debido a que los datos recopilados de los tipos de líquenes es una variable cualitativa se realizó un análisis descriptivo con los mismos. Se calculó la cantidad total, distribución de frecuencias relativa y porcentual de los tipos de líquenes encontrados en el pueblo de Guayama. También, se realizó un análisis de medida de tendencia central, un análisis de dispersión y un análisis de probabilidad.

Los datos provistos por la JCA es una variable cuantitativa por lo que no es posible establecer una correlación con los datos correspondientes a los tipos

de líquenes encontrados. Es por ello que se realizó un análisis descriptivo. La misma se tabuló y graficó (refiérase a los apéndices 13 – 27).

Capítulo Cuatro

Resultados

En la parte sur del pueblo de Guayama se observó una gran cantidad de industrias, entre las cuales se encuentran farmacéuticas como Lilly Del Caribe, Wyeth y Baxter, una planta generadora de electricidad mediante el uso de carbón como fuente primaria (AES Puerto Rico), una petroquímica (Chevron Phillips Puerto Rico) y una planta concretera. Todas estas compañías de una manera u otra tienen un impacto en el medio ambiente y por tanto en las poblaciones de líquenes debido a las emisiones de SO_x (óxidos de azufre) a la atmósfera. De acuerdo a los registros de la JCA para el año 2006, AES Puerto Rico y Wyeth Pharmaceutical fueron las compañías que más descargas de SO_x tuvieron ese año, con niveles que alcanzaron las 23,723,935.2. y 20,380,741.9 kg, respectivamente. En total, se descargaron 47,520,537.1 kg entre todas las industrias antes mencionadas. Dichas emisiones fueron calculadas de acuerdo al combustible quemado por estas industrias las cuales se rigen por la Regla 410 (R410) del Reglamento para el Control de la Contaminación Atmosférica de la JCA (Gobierno de Puerto Rico, 2004).

El pueblo de Guayama cuenta con varias carreteras que lo atraviesan. De estas carreteras las principales y más transitadas son la PR-3, PR-53, PR-179 y la PR-15. La PR-3 se encuentra al sur del pueblo donde se ubica la zona industrial. Por la PR-3 transitaron desde el 1994 al 2004 unos 1,073,532 vehículos. La PR-53 es considerada un expreso y se encuentra al norte del

sector sur del pueblo cerca del centro del mismo si este es dividido en dos partes entre el norte y el sur. Por este expreso transitaron desde el 1997 al 2003 unos 113,300 vehículos. Tanto la PR-179 como la PR-15 llegan desde la zona central del pueblo hasta la parte norte del mismo. Por la carretera PR-179 transitaron desde el 1994 al 2004 unos 50,863 vehículos y por la PR-15 transitaron desde el 1994 al 2003 unos 39,998 (Gobierno de Puerto Rico, 2006).

Con los datos del DTOP se realizó un análisis de frecuencia, se calculó la cantidad total, la frecuencia relativa y la frecuencia porcentual. Para calcular el total se contó la cantidad de vehículos registrados que transitan por las principales carreteras del pueblo de Guayama. Luego se dividió el total de vehículos por carretera entre el gran total de vehículos (suma de todos los vehículos que transitan por todas las carreteras principales del pueblo de Guayama) y se obtuvo la frecuencia relativa (fr). Finalmente se multiplicó la frecuencia relativa por cien (100) y se obtuvo la frecuencia porcentual (fp). Estos datos fueron tabulados en la Tabla 4.02.

Tabla 4.02. Cantidad y distribución de frecuencias de vehículos que transitan por las principales carreteras del pueblo de Guayama, P.R. Datos obtenidos de, Gobierno de Puerto Rico, 2006.

Carreteras Principales	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia porcentual
Carretera PR-3	1,073,532	0.84	84%
Carretera PR-53	113,300	0.09	9%
Carretera PR-179	50,863	0.04	4%
Carretera PR-15	39,998	0.03	3%

De los cuatro (4) tipos de líquenes existentes (ver descripción p. 10) se encontraron especies de cada uno de ellos en los árboles evaluados de las distintas parcelas. Muestras de cada una de estos tipos de líquenes son mostrados en las Figuras 4.02 – 4.06.



Figura 4.02. Árbol sin presencia de líquenes. En esta foto se puede observar el tronco de uno de los árboles estudiados el cual no muestra presencia de líquenes.



Figura 4.03. Árbol con líquenes del tipo crustoso. En esta foto se puede observar el tronco de uno de un árbol estudiado el cual muestra líquenes del tipo crustoso.



Figura 4.04. Árbol con líquenes del tipo folioso. En esta foto se puede observar el tronco de un árbol estudiado el cual muestra líquenes del tipo folioso.

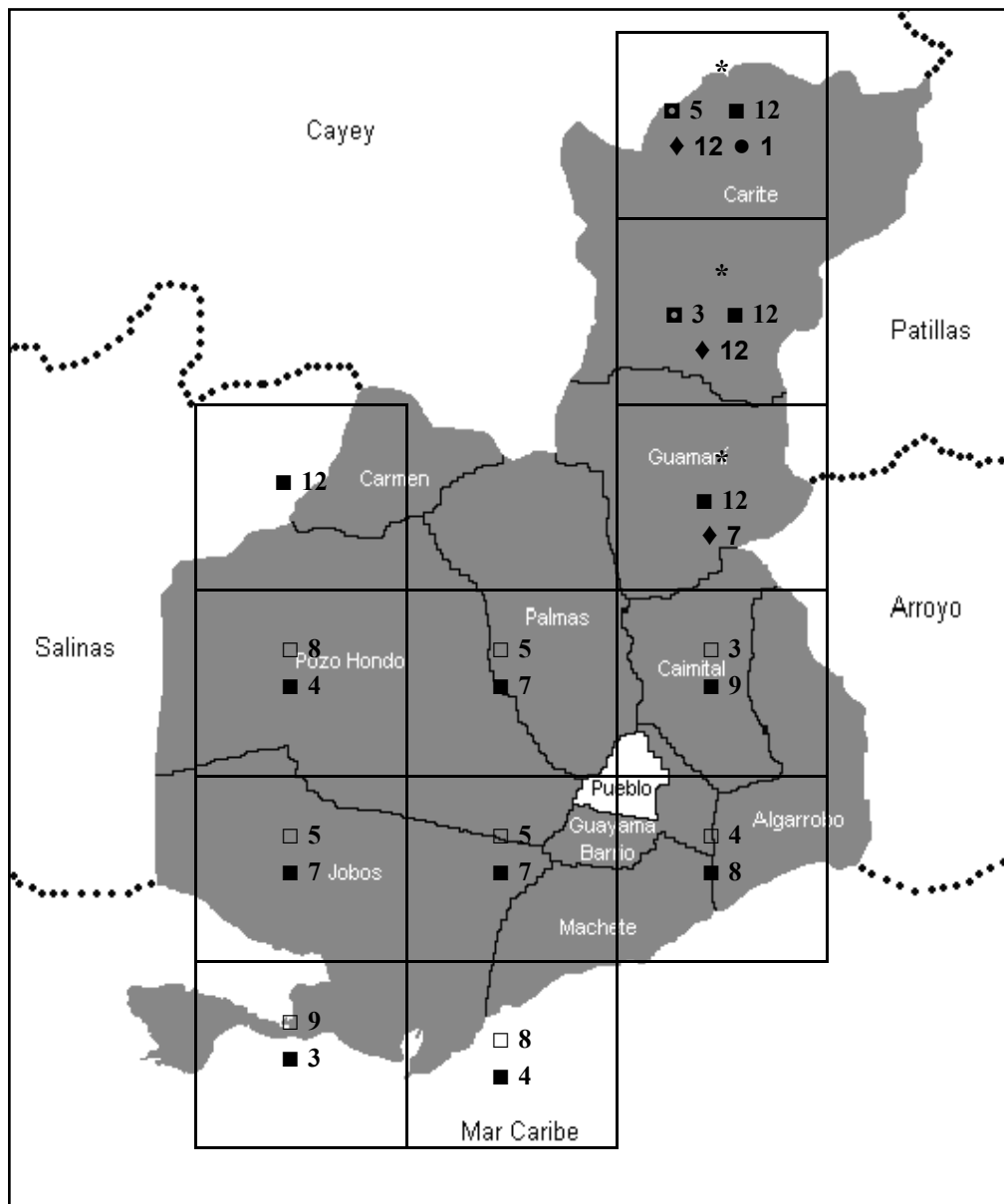


Figura 4.05. Árbol con líquenes del tipo fruticuloso. En esta foto se puede observar el tronco de un árbol estudiado el cual muestra líquenes del tipo fruticuloso.



Figura 4.06. Árbol con líquenes del tipo filamentoso. En esta foto se puede observar el tronco de un árbol estudiado el cual muestra líquenes del tipo filamentoso.

Los datos de los tipos de líquenes encontrados en cada uno de los árboles estudiados por parcela fueron recopilados en los apéndices 1 -12. En la Figura 4.07 podemos identificar la ubicación de los tipos de líquenes encontrados en cada uno de los doce (12) árboles de cada parcela en las que se dividió el pueblo de Guayama.



Leyenda:

- ausencia de líquenes
- ◆ líquenes del tipo folioso
- líquenes del tipo filamentosos
- líquenes del tipo crustoso
- líquenes del tipo fruticuloso

*En estas parcelas los árboles contenían más de un tipo de líquen.

Figura 4.07. Distribución de los tipos de líquenes encontrados en las doce (12) parcelas en las que se dividió el pueblo de Guayama, P.R.

Con los datos de los apéndices 1 al 12 se realizó un análisis de frecuencia, se calculó la cantidad total, la frecuencia relativa y la frecuencia porcentual. Para calcular el total se contó la cantidad de los diferentes tipos de líquenes encontrados en los diversos árboles analizados por parcelas. Luego se dividió el total de tipos de líquenes entre el gran total de todos los tipos de líquenes encontrados y se obtuvo la frecuencia relativa. Finalmente se multiplicó la frecuencia relativa por cien (100) y se obtuvo la frecuencia porcentual. En la Tabla 4.03 se muestra la cantidad de árboles con algún tipo de líquen o ausencia de éstos en cada uno de los 12 árboles analizados por parcela y los resultados del análisis de frecuencia.

En la parte de abajo de la tabla 4.03 se encuentra el total de árboles con presencia o ausencia de líquenes, la frecuencia relativa (fr) y la frecuencia porcentual (fp) por columna. La frecuencia porcentual es mostrada de modo gráfico en la Figura 4.08. En la última columna de la derecha de la Tabla 4.03 se encuentra el número total de árboles por parcela conteniendo ninguno, uno o más de los tipos de líquenes. Las filas correspondientes a las parcelas No. 1 a la No. 3 muestran valores que exceden los 12 árboles analizados por parcela. Esto es así, pues algunos de los árboles analizados en esas parcelas contenían varios tipos de líquenes. Por el contrario, las filas correspondientes a las parcelas No. 4 a la No. 12 muestran un total de 12 árboles en la última columna de la derecha. Lo que indica que los 12 árboles analizados contenían ninguno o solo un tipo de líquen. Este total de árboles es mostrado de modo gráfico en la

Figura 4.09. Observamos que el número de árboles con varios tipos de líquenes aumenta hacia la montaña y disminuye conforme nos acercamos a la costa.

Tabla 4.03. Frecuencia de los diferentes tipos de líquenes encontrados en los 12 árboles analizados por parcela según se dividió el pueblo de Guayama, P.R. En las parcelas donde el total excede los doce (12) árboles analizados es debido a que se encontró más de un tipo de liquen.

Núm. Parcela	Ausencia de líquenes	Crustosos	Foliosos	Fruticulosos	Filamentosos	Total
1	0	12	12	1	5	30
2	0	12	12	0	3	27
3	0	12	7	0	0	19
4	0	12	0	0	0	12
5	8	4	0	0	0	12
6	5	7	0	0	0	12
7	3	9	0	0	0	12
8	5	7	0	0	0	12
9	5	7	0	0	0	12
10	4	8	0	0	0	12
11	9	3	0	0	0	12
12	7	5	0	0	0	12
Total	46	98	31	1	8	184
fr	0.25	0.53	0.17	0.01	0.04	
fp	25%	53%	17%	1%	4%	

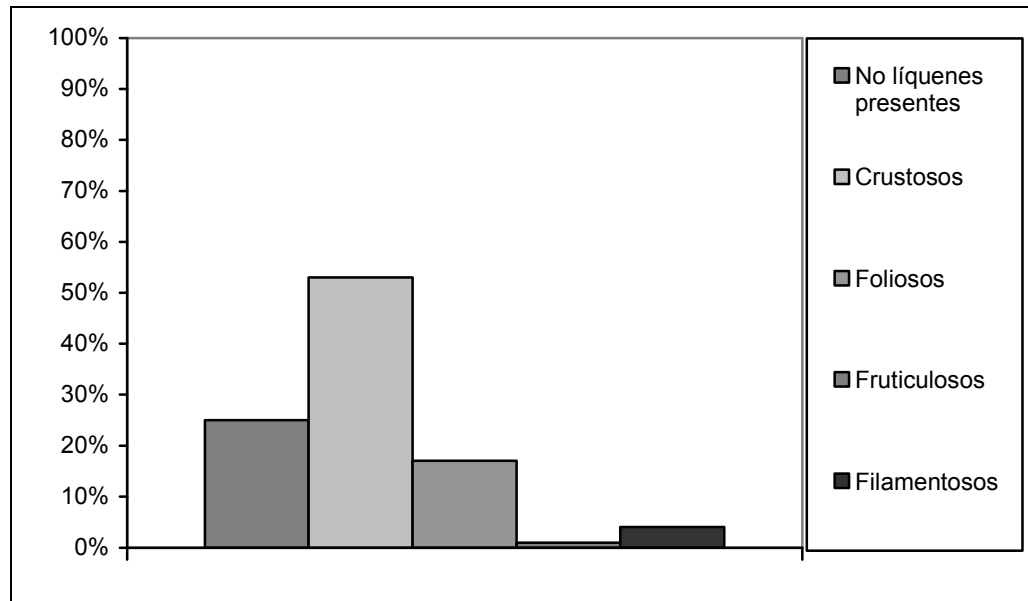


Figura 4.08. Frecuencia porcentual (fp) de los diferentes tipos de líquenes encontrados en los 12 árboles analizados por parcela según se dividió el pueblo de Guayama, Puerto Rico. Se observó que la mayoría de los líquenes encontrados son del tipo crustoso. Datos obtenidos de la Tabla 4.03.

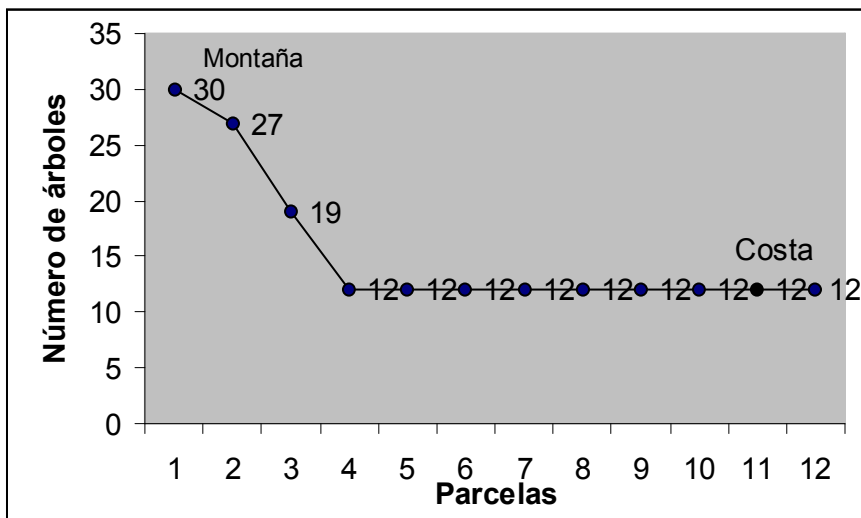


Figura 4.09. Número de árboles por parcela mostrando presencia o ausencia de uno o más tipos de líquenes. Se observó que conforme se pasa de la montaña a la costa disminuyen los números de árboles con diversos tipos de líquenes encontrados. Datos obtenidos de la Tabla 4.03.

Con los datos de la tabla 4.03 se realizó un análisis de medida de tendencia central, un análisis de dispersión y un análisis de probabilidad. Las medidas de tendencia central son utilizadas para determinar el punto medio de una distribución. Para este análisis se utilizó la media, la mediana y la moda.

La media de los líquenes de un tipo a ser encontrados por parcela es de tres (3). Lo cual indica que por cada doce árboles analizados por parcela, tres (3) de ellos tendrán líquenes de algún tipo. Este valor de la media fue influenciado por los valores extremos de las parcelas 4 – 12. Los cuales condicionan el valor de la media a un resultado bajo.

En el caso de la Tabla 4.04 el número total de valores es 60, por ser este un valor par, la mediana es el promedio de los dos valores del medio del conjunto. Como los valores del medio del conjunto son dos ceros (0), el promedio de estos es cero (0). El valor de la mediana es cero (0).

La moda tiene un valor de cero (0) por ser este el número que más se repite en el conjunto de datos. Los valores de la moda y la mediana indican que los árboles analizados son a no contener líquenes de alguno de los tipos. Este resultado se ve afectado por los valores reportados en las parcelas 5 a la 12. Pues en éstas, muchos de los árboles analizados solo contenían líquenes de un solo tipo o ausencia de líquenes (que dada la Tabla 4.03 es considerado una de las variables).

Las medidas de dispersión estudian la distribución de los datos en el grupo, analizando si estos se encuentran más o menos concentrados o más o menos dispersos. Para este análisis se usó la varianza y la desviación estándar.

En la medida en que el valor de la varianza se aproxime a cero más agrupados se encuentran los valores alrededor de la media. Dado el valor de la varianza obtenido (17) y el de la desviación estándar (4) se puede determinar que los valores se encuentran poco dispersos alrededor de la media.

Con los datos de la JCA se determinaron los niveles de SO_2 a los que estuvieron expuestos los líquenes en los pasados siete (7) años (ver Figura 4.10) y el nivel máximo permitido de 0.03 ppm (partes por millón) de SO_2 establecido por la Agencia de Protección Ambiental (mejor conocida como EPA por sus siglas en inglés). En el año 2004 se registró el nivel más alto de SO_2 en

comparación con los otros años. Ninguno de los valores registrados entre los años 2001 al 2007 alcanzan el nivel máximo permitido por la EPA (Gobierno de los Estados Unidos de América, 2007).

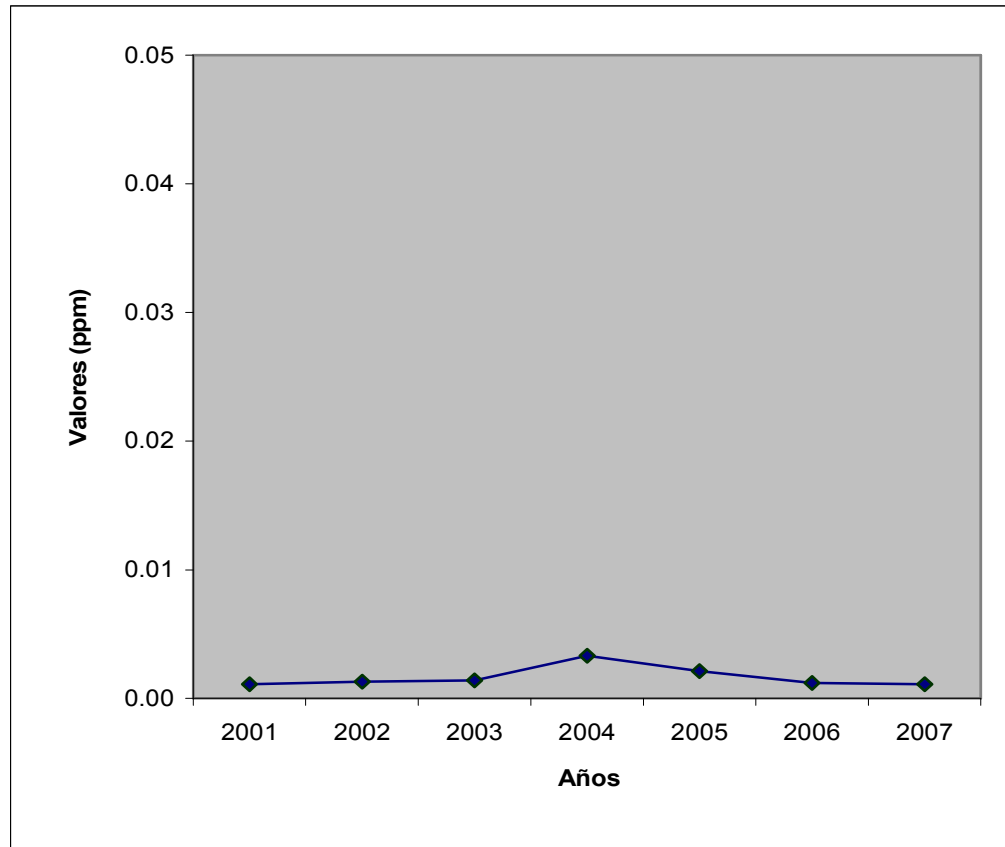


Figura 4.10 Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes a los años 2001 – 2007. El valor máximo obtenido es de 0.003 ppm en el año 2004. Este valor no excede el estándar nacional de 0.03 ppm establecido por la EPA (Gobierno de Puerto Rico, 2004). Datos obtenidos de las estadísticas de la red continua para dióxido de azufre de la JCA.

Capítulo Cinco

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que los diferentes tipos de líquenes se encuentran en el pueblo de Guayama. Este dato puede ser indicativo de que la contaminación del aire en el pueblo de Guayama varía de zona en zona, esto se hace evidente al evaluar la distribución de los líquenes por parcelas. La zona del pueblo con más industrias y tráfico vehicular resultó ser en la que menos diversidad de líquenes se encontró. Siendo la zona norte una carente de industrias, poco movimiento vehicular y la zona con mayor diversidad de líquenes. Por lo que se observa una relación directa entre la presencia de industrias y el tránsito vehicular con la diversidad y la cantidad de líquenes.

Al sur del pueblo de Guayama (Parcelas 11-12) se encuentra la zona costera del pueblo. En esta zona podemos encontrar ecosistemas tales como bosque de mangle, bosque seco y área de playa. En la zona se encontraron pocos líquenes o únicamente del tipo crustoso, los cuales resisten la contaminación ambiental. En adición, ésta es la zona industrial de Guayama donde se encuentran las industrias con mayor emisión de SO_2 en el año 2006 (Gobierno de Puerto Rico, 2004). Por otro lado el 84% de los vehículos que transitan por el pueblo de Guayama lo hacen por la carretera PR-3 localizada en esta zona. De los 24 árboles estudiados en las parcelas 11 y 12 correspondientes a la zona sur del pueblo, el 67% de éstos no tenían líquenes.

Por lo que se puede determinar que la calidad del aire en la zona sur del pueblo de Guayama es pobre de acuerdo a la Tabla 3.01 (Rivera, 2008).

Las zonas este, central y oeste del pueblo están compuestas por las parcelas 4 a la 10. Estas zonas en su mayoría son secas. Por estas zonas transitan el 13% de los vehículos que transcurren por el pueblo de Guayama. Se observó que según nos alejábamos de la zona costera en dirección a la zona norte del pueblo, aumenta la cantidad de árboles con líquenes crustosos y mientras más al norte, aumenta los otros grupos de líquenes. Se observó que 30 de los 46 árboles con ausencia de líquenes se encuentran en las parcelas 4 a la 10. Por esto las zonas este, central y oeste del pueblo de Guayama se pueden considerar con una calidad de aire regular (Rivera, 2008).

En la parcela 3 localizada entre la zona rural y la zona urbana del pueblo de Guayama se clasificó la calidad del aire como bueno debido a la presencia de líquenes del tipo folioso (Rivera, 2008). La especie de liquen encontrado pertenece al género *Parmotremas*. Este tipo de liquen fue utilizado con éxito en el monitoreo de la contaminación ambiental con dióxido de azufre en cinco (5) ciudades de Japón. Esta fue la primera relación estudiada en un país tropical entre un liquen y SO₂. Desde entonces se ha utilizando esta especie como indicador ambiental en dicho país. Sin embargo, esta relación con SO₂ fue también estudiada con éxito en países como Inglaterra y Gales (Hawksworth, et al, 2005).

Las parcelas 1 y 2 se encuentran en el lado norte del pueblo de Guayama. Esta zona es clasificada como bosque lluvioso debido a la presencia

del Bosque Carite que ocupa gran parte de esta zona. Por ser un bosque lluvioso existe en el mismo una densa vegetación y cuerpos de agua en forma de quebradas. Este bosque queda en los niveles altos de las montañas. Luego de estudiar los tipos de líquenes que abundan en esta zona encontramos líquenes del tipo folioso, fruticuloso y filamentoso. Las especies de líquenes que abundan en esta zona son las *Parmotremas*, *Cladonia* y *Usnea* (Brodo y otros, 2001). Al ser la *Usnea* una de las especies de líquenes más sensitivas a la contaminación ambiental, es por esta razón que se clasifica la calidad del aire en la zona norte del pueblo de Guayama como excelente (Rivera, 2008). Esto es justificable ya que solo un 4% de los vehículos que transitan por el pueblo de Guayama lo hacen por esta zona en la cual solo se encuentran residencias y no hay industrias.

En general, la calidad del aire en el pueblo de Guayama puede ser clasificada como regular (Rivera, 2008). Ya que el análisis realizado de los tipos de líquenes encontrados en la mayoría de las parcelas reveló que el 54% de los líquenes encontrados son del tipo crustoso los cuales tienen una gran capacidad de subsistir en ambientes con calidad del aire regular y hasta pobre. Por otro lado, un 25% de los árboles estudiados no tenían líquenes, lo cual indica una calidad del aire pobre (Rivera, 2008). Solo el 4% de los líquenes encontrados fueron del tipo filamentoso, y éstos solo viven en zonas con excelente calidad del aire.

Sin embargo los niveles de SO_2 registrados por la JCA en su estación de monitoreo en Guayama no exceden el estándar nacional de 0.03 ppm en el

periodo de finales del 2001 a comienzos del 2007. Por el contrario, el nivel promedio más alto de SO₂ registrado lo fue en el año 2004 y el mismo fue de 0.003 ppm, el cual está por debajo del estándar nacional de 0.03 ppm permitido por la EPA (Gobierno de los Estados Unidos de América, 2007).

Son muchos los estudios realizados en donde se ha demostrado los resultados adversos de la contaminación atmosférica en las poblaciones de líquenes. En el sur oeste de Portugal se obtuvieron resultados adversos a la población de líquenes a través del tiempo debido a la densidad industrial, carreteras concurridas y granjas de la zona (Pinho, 2004). En el este de los Estados Unidos las poblaciones de líquenes se afectaron por la lluvia ácida (Neitich, 2003). Países tales como China, Jamaica, Reino Unido, Estados Unidos, Brazil, Argentina, Indonesia, Korea, Hong Kong e Italia también reportaron resultados adversos a los líquenes debido a la contaminación atmosférica (Hawksworth, et al, 2005).

Debido a que no solo el SO₂ afecta las poblaciones de líquenes es evidente que las mismas están siendo afectadas por otros tipos de contaminantes y situaciones adversas que disminuyen o extinguen las poblaciones y la variedad de líquenes en las zonas central, sur, este y oeste del pueblo de Guayama. La cantidad de industrias que dominan en estas zonas y la cantidad de vehículos que transitan a diario por ellas, pueden causar descargas de otros contaminantes, tales como partículas que exceden el nivel de material particulado de 10 (PM por sus siglas en inglés) y PM 2.5, NO (nitros) y CO (monóxido de carbono) como lo indica la JCA (Gobierno de Puerto Rico, 2004).

Capítulo Seis

Conclusión

En este estudio se logró estimar el nivel de contaminación en el pueblo de Guayama, P.R. mediante un censo de los tipos de líquenes encontrados. Basado en los resultados obtenidos se determinó que los crustosos son el tipo de liquen que más abunda en el pueblo de Guayama, P.R. La mayor diversidad de los tipos de líquenes se encontró en la zona norte del pueblo la cual se localiza en la región montañosa y posee un bosque lluvioso. En el centro, este y oeste del pueblo se encontró una disminución de los tipos de líquenes y en el sur se encontraron pocos líquenes.

Como resultado del estudio de campo se determinó la presencia de diversos tipos de líquenes en las distintas zonas del pueblo de Guayama. Aunque se encontraron líquenes filamentosos y fruticulosos los cuales se encuentran en lugares con buena calidad del aire, los crustosos se encontraron en mayor abundancia. Los resultados obtenidos en este estudio niega la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna de que la calidad del aire en el pueblo de Guayama es regular.

El monitoreo de estos líquenes por un largo periodo de tiempo analizando el comportamiento, desarrollo y reproducción de los mismos ayudaría investigaciones futuras. Sería recomendable monitorear la reacción de estos a diversas situaciones ambientales que pudieran afectar su desarrollo, tales como:

contaminación con otros compuestos químicos, las sequías, los fuegos, los huracanes y la deforestación. También se podría determinar el efecto directo por contaminación a los tipos de líquenes monitoreando su población y diversidad. Toda esta información nos ayudaría a determinar su capacidad de regeneración y repoblación en áreas ambientalmente perturbadas.

Se recomienda el estudio de los líquenes en el pueblo de Guayama, P.R. por un periodo largo de tiempo, analizando la composición química de éstos y determinando la concentración de contaminantes retenidos en ellos. De este modo se podrá determinar los compuestos químicos a los que estuvieron expuestos y su efecto en la población de líquenes y en la calidad del aire.

Literatura Citada

- Bačkor M, Fahset D. 2005. Tetrazolium reduction as an indicator of environmental stress in Lichens and isolated bionts. In: Environmental and Experimental Botany, Vol. 53 (2): 125-133.
- Bargagli R, Borghini F, Bravi F, Amorelli F. 2002. Biodiversity of epiphytic lichens and air pollution in the town of Siena (central Italy). In: Environmental Pollution, Vol.116 (1) 123-128.
- Batts JE, Calder LJ, Batts BD. 2004. Utilizing stable isotope abundance of Lichens to monitor environmental change. In: Chemical Geology, Issues 3-4: 345-368.
- Brodo IM, Duran Sharnoff S, Sharnoff S. 2001. Lichens of North America, Yale University Press/New Haven and London.
- Castello M, Skert N. 2005. Evaluation of Lichens diversity as indicators of environmental quality in the North Adriatic submediterranean region. In: Science of The Total Environment, Vol. 336 (1-3): 201-214.
- Conti ME, Cecchetti G. 2001. Biological monitoring: Lichens as bioindicators of air pollution assesment. In: Environmental Pollution, Vol.114 (3): 471-492.
- Gobierno de los Estados Unidos de América. 2007. Air quality system raw data. Disponible en <http://www.epa.gov>; accesado el 09 agosto de 2007.

- Gobierno de Puerto Rico. 2004. Estadísticas anuales de la red continua. Dióxido de azufre. Disponible en <http://www.jca.gobierno>; accesado el 10 de octubre de 2007.
- Gobierno de Puerto Rico. 2006. Programa de datos de tránsito. Disponible en <http://www.dtop.gov>; accesado el 05 de octubre de 2007.
- Johansson P, Johan E. 2003. Influence of habitat quality, quality and isolation on the distribution of two epiphytic Lichens. In: The Journal of Ecology [H.W. Wilson-G.S.], Vol. 91(2) 213.
- Kinnunen H, Holopainen T, Kärenlampi L. 2003. Sources of error in epiphytic lichens variables mapped as bioindicators: need to modify the Finnish standard. In: Ecological Indicators, Vol.3 (1): 1-11.
- Hawksworth DL, Iturriaga T, Crespo A. 2005. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio – ambientales en los trópicos. En: Rev. Iberoamericana de Micología, Vol. 22: 71-82.
- Misty J. 1998. Corticolous lichens as potential bioindicators of fire history: a study in the Cerrado of the Distrito Federal, Central Brazil. In: Journal of Biogeography, Vol. 25: 409-441.
- Munzi S, Ravera S, Canera G. 2007. Epiphytic Lichens as indicators of environmental quality in Rome. In: Environmental Pollution, Vol.146 (2): 350-358.
- Murphy KJ, Alpert P, Cosentino D. 1999. Local impacts of a rural coal-burning generating station on Lichen abundance in a New England forest. In: Environmental Pollution, Vol. 105 (3): 349-354.

- Neitlich P, Roger P, Rosentreter R. 2003. Lichen Communities Indicator Results from Idaho: Baseline Sampling. In: General Technical Report RMRS-GTR-103, United States Department of Agriculture, Forest Service.
- Pascual y Durán. 1997. Los hongos, algas y líquenes. España: FAPA Ediciones.
- Pinho P, Augusto S, Branquinho C, Bio A, Pereira MJ, Soares A, Catarino F. 2004. Mapping Lichens Diversity as a First Step for Air Quality Assessment. In: Journal of Atmospheric Chemistry, Vol. 49: 377-389.
- Rivera M. 2004. Welcome to Puerto Rico. Guayama Puerto Rico. Disponible en <http://welcome.topuertorico.org/city/quayama.shtml>; accesado el 03 de septiembre de 2007.
- Sarpunkaew W, Wolseley PA, Chimonides PJ, Boonpragob K. 2007. Epiphytic macrolichens as indicator of environmental alterations in northern Thailand. In: Environmental Pollution, Vol.146 (2): 366-374.
- Simonson S. 1994. Lichens and Lichen – Feeding Moths (Arctiidae: Lithosiinae) as Bioindicators of Air Pollution in the Rocky Mountain Front Range. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Thompson ID. 2006. Monitoring of Biodiversity Indicators in Boreal Forests: A need for improved focus. In: Environmental Monitoring and Assessment, Vol 121: 263-273.

Apéndice 1

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No.1.

PARCELA 1

Barrio: Carite

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Bosque lluvioso

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
1	Crustosos, Foliosos
2	Crustosos, Foliosos, Filamentosos
3	Crustosos, Foliosos
4	Crustosos, Foliosos, Filamentosos
5	Crustosos, Foliosos, Filamentosos
6	Crustosos, Foliosos
7	Crustosos, Foliosos, Filamentosos
8	Crustosos, Foliosos
9	Crustosos, Foliosos
10	Crustosos, Foliosos, Fruticulosos
11	Crustosos, Foliosos
12	Crustosos, Foliosos, Filamentosos

Apéndice 2

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 2.

PARCELA 2

Barrio: Carite

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Bosque lluvioso

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
1	Crustosos, Foliosos, Filamentosos
2	Crustosos, Foliosos
3	Crustosos, Foliosos
4	Crustosos, Foliosos
5	Crustosos, Foliosos, Filamentosos
6	Crustosos, Foliosos
7	Crustosos, Foliosos
8	Crustosos, Foliosos
9	Crustosos, Foliosos
10	Crustosos, Foliosos
11	Crustosos, Foliosos, Filamentosos
12	Crustosos, Foliosos

Apéndice 3

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No.3.

PARCELA 3

Barrio: Guamaní

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Bosque

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
1	Crustosos, Foliosos
2	Crustosos, Foliosos
3	Crustosos
4	Crustosos, Foliosos
5	Crustosos
6	Crustosos
7	Crustosos, Foliosos
8	Crustosos, Foliosos
9	Crustosos
10	Crustosos
11	Crustosos, Foliosos
12	Crustosos, Foliosos

Apéndice 4

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 4.

PARCELA 4

Barrio: Carmen

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Seca, Boscosa

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
---------------	----------------------------

1	Crustosos
2	Crustosos
3	Crustosos
4	Crustosos
5	Crustosos
6	Crustosos
7	Crustosos
8	Crustosos
9	Crustosos
10	Crustosos
11	Crustosos
12	Crustosos

Apéndice 5

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 5.

PARCELA 5

Barrio: Pozo Hondo

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Seca

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
1	No líquenes presentes
2	No líquenes presentes
3	No líquenes presentes
4	Crustosos
5	No líquenes presentes
6	No líquenes presentes
7	Crustosos
8	No líquenes presentes
9	Crustosos
10	No líquenes presentes
11	Crustosos
12	No líquenes presentes

Apéndice 6

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 6.

PARCELA 6

Barrio: Palmas

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Seca

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
1	Crustosos
2	No líquenes presentes
3	No líquenes presentes
4	Crustosos
5	Crustosos
6	No líquenes presentes
7	Crustosos
8	No líquenes presentes
9	Crustosos
10	No líquenes presentes
11	Crustosos
12	Crustosos

Apéndice 7

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 7.

PARCELA 7

Barrio: Caimital

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Seca

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
1	Crustosos
2	No líquenes presentes
3	Crustosos
4	Crustosos
5	Crustosos
6	No líquenes presentes
7	Crustosos
8	No líquenes presentes
9	Crustosos
10	Crustosos
11	Crustosos
12	Crustosos

Apéndice 8

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 8.

PARCELA 8

Barrios: Pozo Hondo (sur) y Jobos (norte)

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Seca

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
1	Crustosos
2	No líquenes presentes
3	No líquenes presentes
4	Crustosos
5	Crustosos
6	No líquenes presentes
7	Crustosos
8	No líquenes presentes
9	Crustosos
10	Crustosos
11	No líquenes presentes
12	Crustosos

Apéndice 9

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 9.

PARCELA 9

Barrios: Pozo Hondo (este), Jobos (noreste), Pueblo (oeste) y Guayama
(oeste)

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Seca

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
1	Crustosos
2	Crustosos
3	No líquenes presentes
4	Crustosos
5	No líquenes presentes
6	No líquenes presentes
7	Crustosos
8	No líquenes presentes
9	Crustosos
10	No líquenes presentes
11	Crustosos
12	Crustosos

Apéndice 10

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 10.

PARCELA 10

Barrios: Algarrobo, Caimital(sur) y Guayama (noreste)

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Seca, Costera

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
1	Crustosos
2	Crustosos
3	No líquenes presentes
4	Crustosos
5	No líquenes presentes
6	Crustosos
7	Crustosos
8	No líquenes presentes
9	No líquenes presentes
10	Crustosos
11	Crustosos
12	Crustosos

Apéndice 11

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 11.

PARCELA 11

Barrio: Jobos

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Seca, costera y humedales

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
1	No líquenes presentes
2	No líquenes presentes
3	No líquenes presentes
4	No líquenes presentes
5	No líquenes presentes
6	No líquenes presentes
7	Crustosos
8	No líquenes presentes
9	No líquenes presentes
10	No líquenes presentes
11	Crustosos
12	Crustosos

Apéndice 12

Tipo de líquenes encontrados en la parcela No. 12.

PARCELA 12

Barrio: Machete

Guayama, Puerto Rico

Tipo de zona: Seca y costera

No. del árbol	Tipo de líquenes presentes
1	No líquenes presentes
2	No líquenes presentes
3	Crustosos
4	No líquenes presentes
5	No líquenes presentes
6	Crustosos
7	Crustosos
8	No líquenes presentes
9	No líquenes presentes
10	No líquenes presentes
11	Crustosos
12	Crustosos

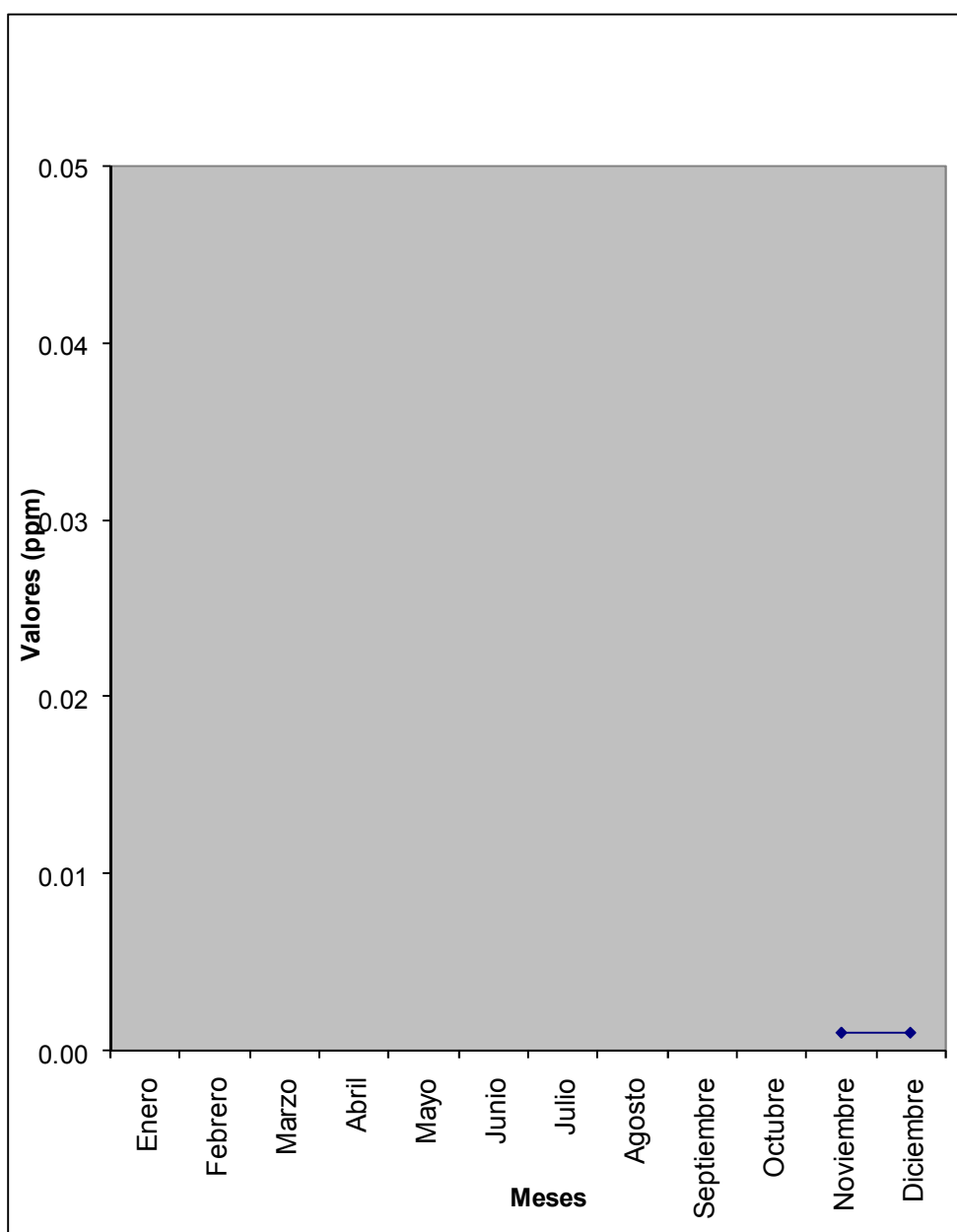
Apéndice 13

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2001.

Mes	Valores (ppm)
enero	N/A
febrero	N/A
marzo	N/A
abril	N/A
Mayo	N/A
junio	N/A
julio	N/A
agosto	N/A
septiembre	N/A
octubre	N/A
noviembre	0.001
diciembre	0.001

Apéndice 14

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2001.



Valores tomados de: Gobierno de Puerto Rico, 2004.

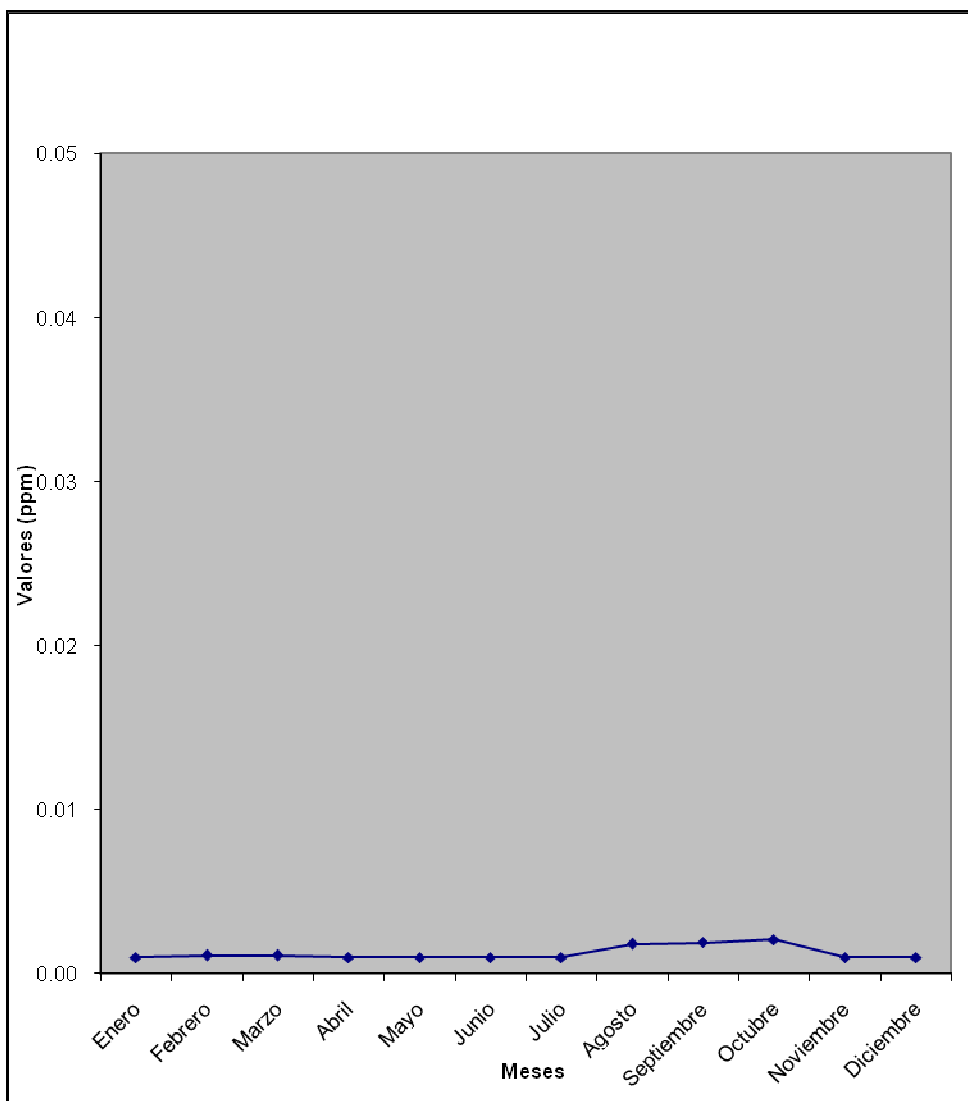
Apéndice 15

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2002.

Mes	Valores (ppm)
enero	0.001
febrero	0.001
marzo	0.001
abril	0.001
Mayo	0.001
junio	0.001
julio	0.001
agosto	0.002
septiembre	0.002
octubre	0.002
noviembre	0.001
diciembre	0.001

Apéndice 16

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2002.



Valores tomados de: Gobierno de Puerto Rico, 2004.

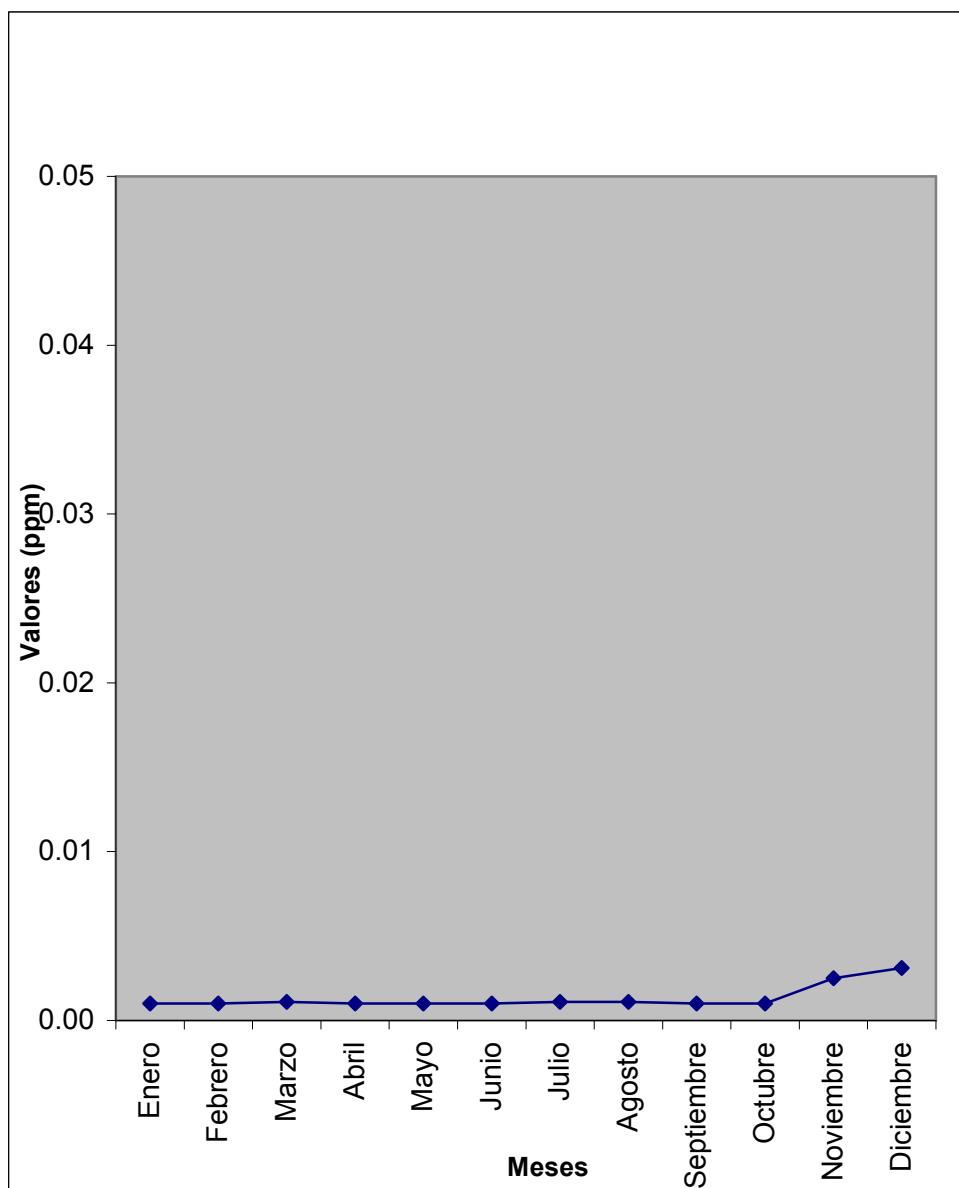
Apéndice 17

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2003.

Mes	Valores (ppm)
enero	0.001
febrero	0.001
marzo	0.001
abril	0.001
Mayo	0.001
junio	0.001
julio	0.001
agosto	0.001
septiembre	0.001
octubre	0.001
noviembre	0.003
diciembre	0.003

Apéndice 18

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2003.



Valores tomados de: Gobierno de Puerto Rico, 2004.

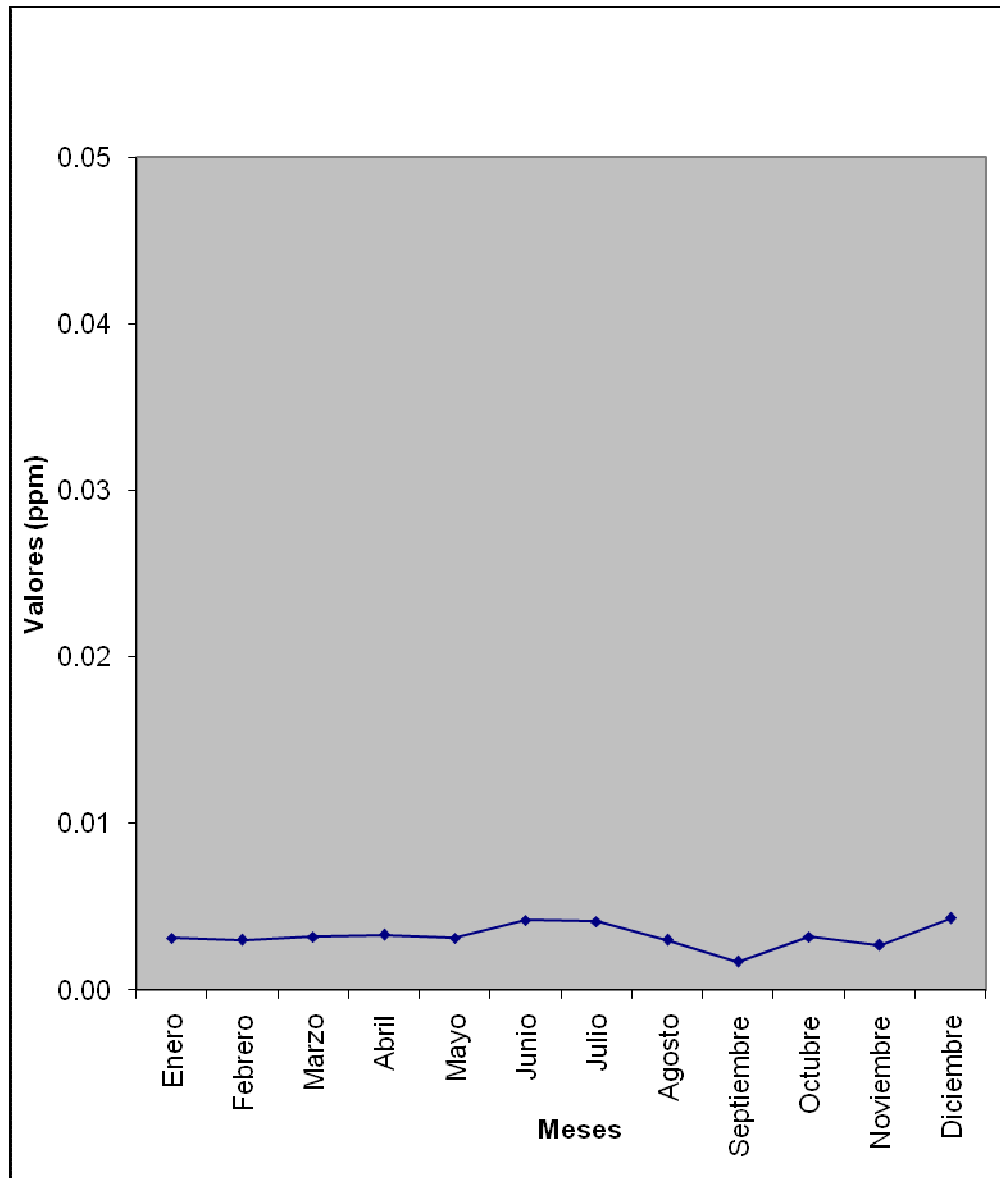
Apéndice 19

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2004.

Mes	Valores (ppm)
enero	0.003
febrero	0.003
marzo	0.003
abril	0.003
Mayo	0.003
junio	0.004
julio	0.004
agosto	0.003
septiembre	0.002
octubre	0.003
noviembre	0.003
diciembre	0.004

Apéndice 20

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2004.



Valores tomados de: Gobierno de Puerto Rico, 2004.

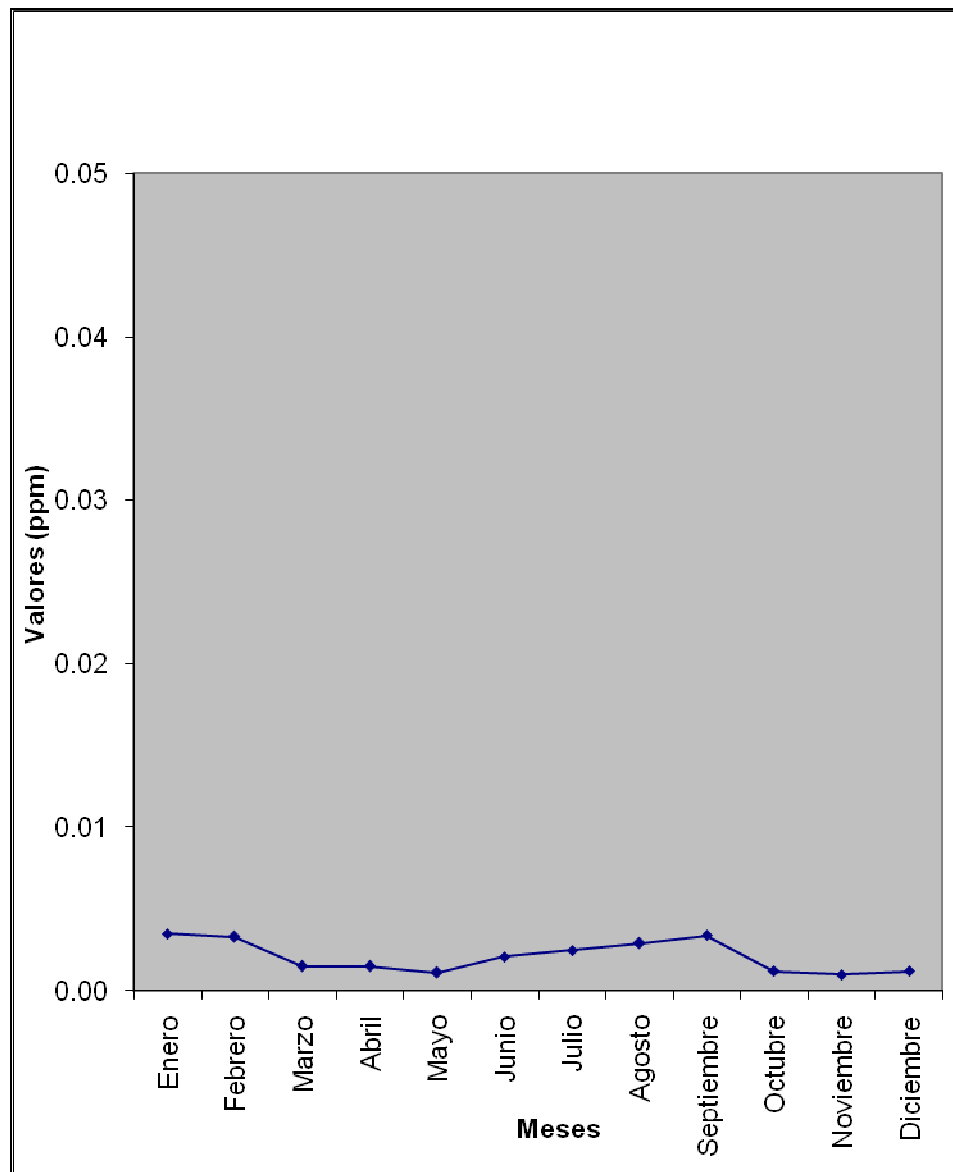
Apéndice 21

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2005.

Mes	Valores (ppm)
enero	0.004
febrero	0.003
marzo	0.002
abril	0.002
Mayo	0.001
junio	0.002
julio	0.003
agosto	0.003
septiembre	0.003
octubre	0.001
noviembre	0.001
diciembre	0.001

Apéndice 22

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2005.



Valores tomados de: Gobierno de Puerto Rico, 2004.

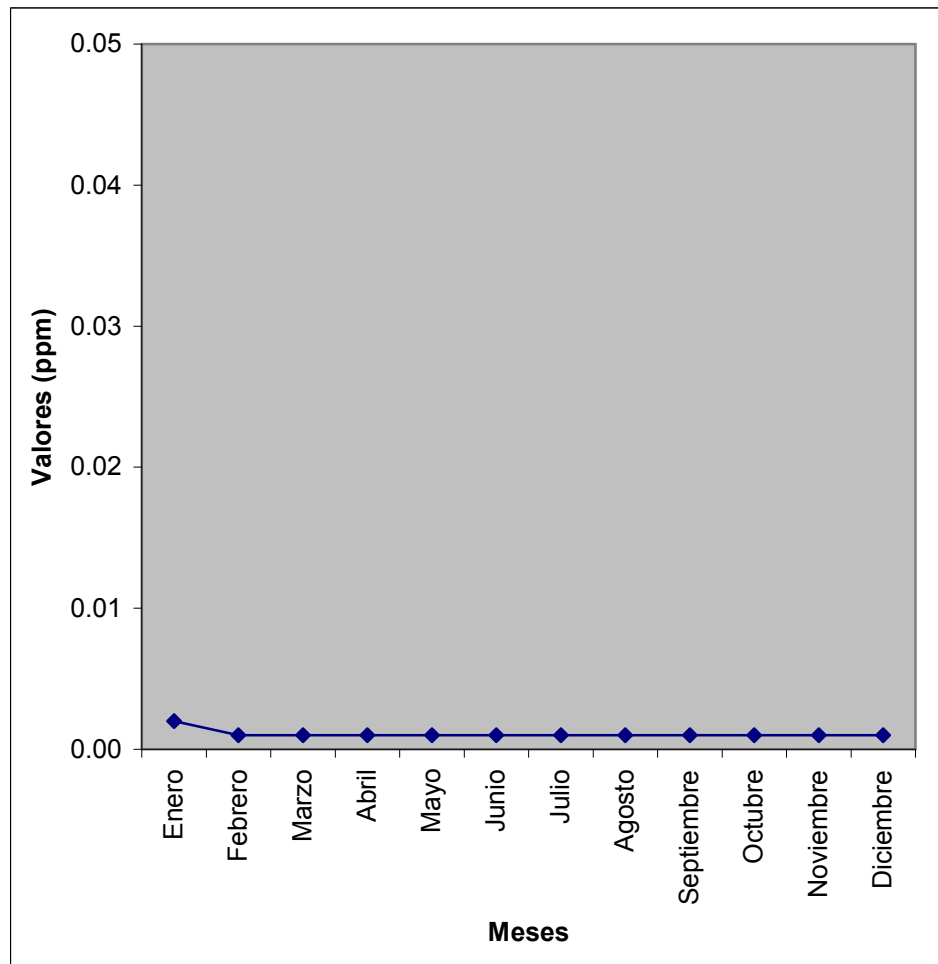
Apéndice 23

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2006.

Mes	Valores (ppm)
enero	0.002
febrero	0.001
marzo	0.001
abril	0.001
Mayo	0.001
junio	0.001
julio	0.001
agosto	0.001
septiembre	0.001
octubre	0.001
noviembre	0.001
diciembre	0.001

Apéndice 24

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2006.



Valores tomados de: Gobierno de Puerto Rico, 2004.

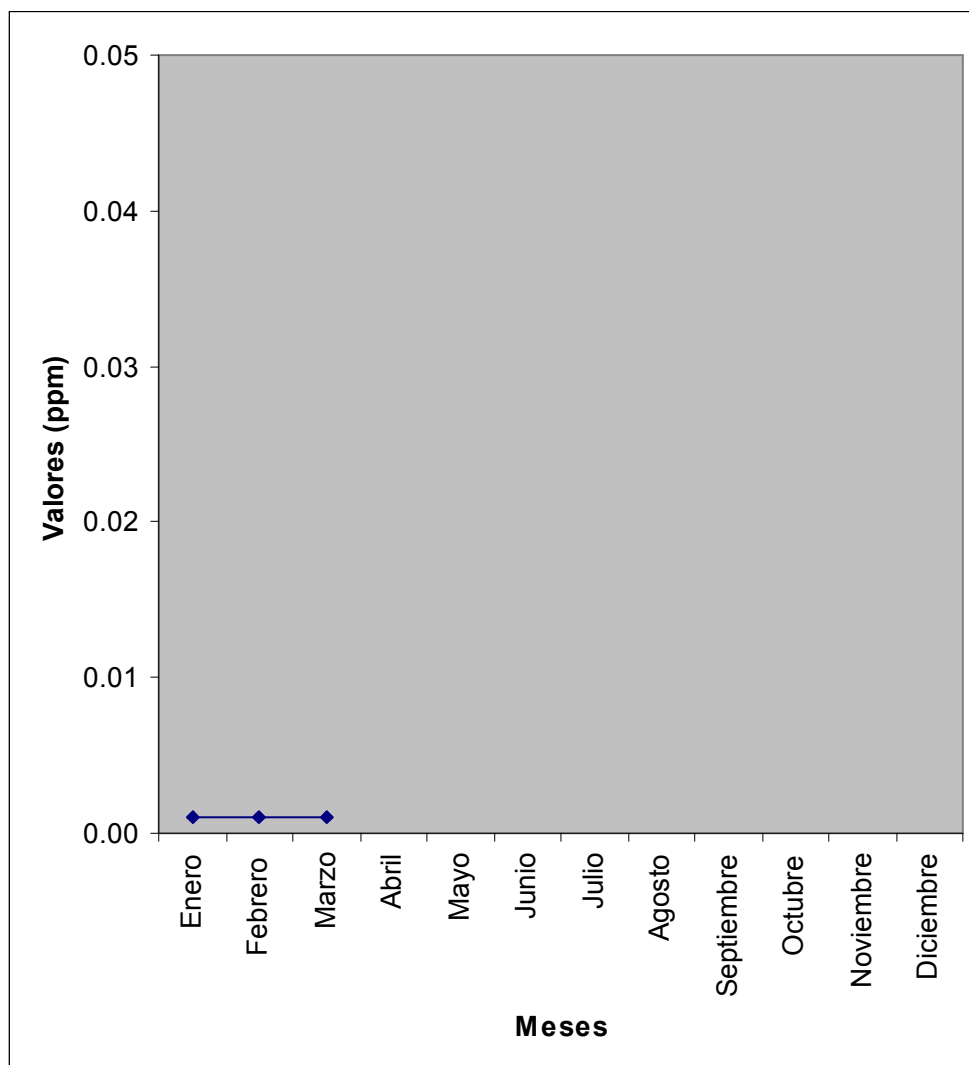
Apéndice 25

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2007.

Mes	Valores (ppm)
enero	0.001
febrero	0.001
marzo	0.001
abril	N/A
Mayo	N/A
junio	N/A
julio	N/A
agosto	N/A
septiembre	N/A
octubre	N/A
noviembre	N/A
diciembre	N/A

Apéndice 26

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2007.



Valores tomados de: Gobierno de Puerto Rico, 2004.

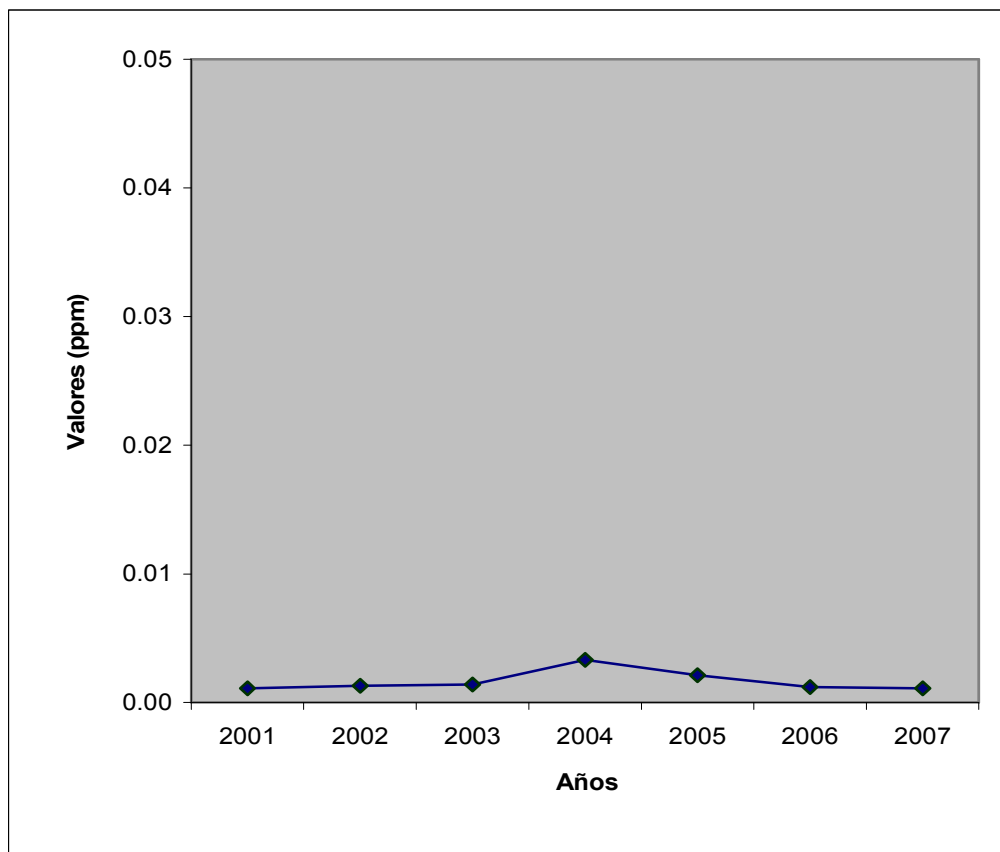
Apéndice 27

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes a los años 2001 – 2007.

Año	Valores (ppm)
2001	0.001
2002	0.001
2003	0.001
2004	0.003
2005	0.002
2006	0.001
2007	0.001

Apéndice 28

Niveles de SO₂ registrados por la JCA correspondientes al año 2007.



Valores tomados de: Gobierno de Puerto Rico, 2004.

