



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO
INTEGRAL REGIONAL, UNIDAD DURANGO**

TESIS

**DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN EL POLVO
ATMOSFÉRICO DEL AIRE AMBIENTE DEPOSITADO EN EL FOLLAJE DEL
Ligustrum lucidum (TRUENO) EN LA CIUDAD DE DURANGO**

DIRECTORES:

DR. ISAIAS CHAIREZ HERNÁNDEZ

DRA. LAURA SILVIA GONZÁLES VALDEZ

ASESORES:

DR. JOSÉ BERNARDO PROAL NÁJERA

DR. IGNACIO VILLANUEVA FIERRO

PRESENTA:

ALEJANDRO FABIAN ORONA MEZA

DICIEMBRE 2014



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14-BIS

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 13:00 horas del día 25 del mes de Noviembre del 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del: CIIDIR-IPN Unidad Durango para examinar la tesis titulada:

“Determinación de metales pesados presentes en el polvo atmosférico del aire ambiente depositado en el follaje del *Ligustrum lucidum* (trueno) en la ciudad de Durango

Presentada por el alumno:

Orona

Meza

Alejandro Fabián

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

B	1	2	0	6	2	2
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

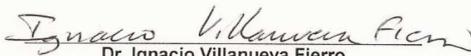
LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis


Dr. Isaias Chairez Hernández


Dra. Laura Silvia González Valdez

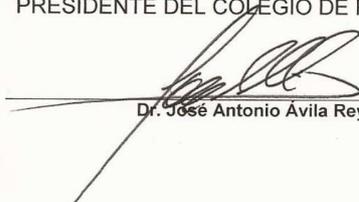

Dr. José Bernardo Proal Nájera


Dr. Ignacio Villanueva Fierro


Dr. René Torres Ricario


Dr. J. Natividad Gurrola Reyes

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


Dr. José Antonio Ávila Reyes


 CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD DURANGO
I.P.N.



SP-13-BIS

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

México, D.F. a 18 de Noviembre del 2014

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR Durango en su sesión Ordinaria No. 9 celebrada el día 4 del mes de Noviembre conoció la solicitud presentada por el(ia) alumno(a):

ORONA

MEZA

ALEJANDRO FABIÁN

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre (s)

Con registro:

R	1	2	0	6	2	2
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:
Determinación de metales pesados presentes en el polvo atmosférico del aire ambiente depositado en el follaje del *Ligustrum lucidum* (trueno) en la ciudad de Durango

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:
Dr. Isaias Chairez Hernández y Dra. Laura Silvia González Valdez

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:
CIIDIR-IPN Unidad Durango

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Directores de Tesis.


Isaias Chairez Hernández

Aspirante


Ing. en Sci. Amb. Alejandro Fabian Orona Meza


Dra. Laura Silvia González Valdez

Presidente del Colegio



Dr. José Antonio Arredondo Reyes
CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
CIIDIR
UNIDAD DURANGO
IPN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día **25** del mes de **Noviembre** del año **2014**, el que suscribe **Alejandro Fabián Orona Meza** alumno del Programa de **Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental**, con número de registro **B120622**, adscrito al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, CIIDIR-IPN Unidad Durango**, manifiesto que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Isaías Chaírez Hernández** y de la **Dra. Laura Silvia González Valdez** y cede los derechos del trabajo titulado **"Determinación de metales pesados presentes en el polvo atmosférico del ambiente depositado en el follaje del *Lugustrum lucidum* (trueno) en la ciudad de Durango"**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones ingormeza@hotmail.com, ichairez@hotmail.com y lsgv2001@yahoo.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


ALEJANDRO FABIAN ORONA-MEZA

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	2
1.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.	2
1.2. FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	2
2.11. Fuentes naturales.	3
1.2.2 Fuentes antropogénicas.	3
1.3. PARTÍCULAS SUSPENDIDAS.	4
1.3.1. Morfología de las partículas suspendidas.....	5
1.4. INFLUENCIA DE LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS.	7
1.5. MÉTALES PESADOS EN EL AIRE	7
1.6. EFECTOS EN LA SALUD DEBIDO A LOS METALES PESADOS PRESENTES EN EL AIRE... 8	
1.7. MONITOREO DEL AMBIENTE A TRAVÉS DE LA VEGETACIÓN.	10
1.7.1 Uso de <i>Ligustrum lucidum A.</i> en monitoreo de partículas suspendidas. 13	
1.8 GEOESTADÍSTICA.....	14
1.8.1 Interpolación Kriging ordinario.	15
1.8.2 Modelar variograma.	16
II. JUSTIFICACIÓN	18
III. OBJETIVO.	20
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
IV. HIPOTESIS.	21
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
5.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	22
5.1.1 Delimitación del área de estudio.....	22
5.2 ESPECIE DE MUESTREO.....	26
5.3 TOMA DE MUESTRAS.	27
5.4 ANÁLISIS QUÍMICO.....	27

5.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		30
6.1	CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN HOJAS DE <i>L. LUCIDUM</i>	30
6.1.1	Cu.	30
6.1.1.1	Análisis descriptivo.	31
6.1.1.2	Interpolación de Kriging para concentraciones de Cu en la hojas de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango.	32
6.1.1.3	Interpolación de Kriging para concentraciones de Cu en las partículas recuperadas del lavado de las hojas de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango.	33
6.1.2	Fe.	35
6.1.2.1	Análisis descriptivo.	36
6.1.2.2	Interpolación de Kriging de concentraciones de Fe en las hojas de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango	36
6.1.2.3	Interpolación de Kriging de concentraciones de Fe en las partículas recuperadas del lavado de hojas de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango.	37
6.1.3	Zn.	39
6.1.3.1	Análisis descriptivo.	39
6.1.3.2	Interpolación de Kriging de concentraciones de Zn en las hojas de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango	40
6.1.3.3	Interpolación de Kriging de concentraciones de Zn en las partículas recuperadas del lavado de hojas de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango.	41
6.1.4	Mn.	42
6.1.4.1	Análisis descriptivo	44
6.1.4.2	Interpolación de Kriging de concentraciones de Mn en las hojas de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango	45
6.1.4.3	Interpolación de Kriging de concentraciones de Mn en las partículas recuperadas del lavado de hojas de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango.	46
6.1.5	Pb.	49
6.1.5.1	Análisis descriptivo.	49

6.1.5.2. Interpolación de Kriging de concentraciones de Pb en las hojas de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango	50
6.1.5.3 Interpolación de Kriging de concentraciones de Pb en las partículas recuperadas del lavado de hojas de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango.....	51
6.1 CORRELACIONES.....	53
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFIA	56
ANEXO	61

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Durango, bajo la dirección de los doctores Isaías Chairez Hernández e Laura Silvia González Valdez, así como los asesores el Doctor Ignacio Villanueva Fierro y el Doctor José Bernardo Proal Nájera. Adicionalmente se contó con una beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

DEDICATORIA.

A mis padres porque sin su apoyo no podría haber realizado este trabajo.

AGRADECIMIENTOS.

A mi comité tutorial por apoyarme en todo momento en la realización de esta investigación, así mismo agradezco al CIIDIR-IPN Unidad Durango por darme la oportunidad de realizar un posgrado, a los profesores que me brindaron su conocimiento en clase, a la maestra Noelia por su grandísimo apoyo, a las personas de central de instrumentación por su apoyo en los análisis de laboratorio, a Estrella por apoyarme y ayudarme en la realización del documentó a mi amigo Miguel Soto porque sin su ayuda en el laboratorio esto no hubiera sido posible, a los compañeros del salón por brindarme su amistad Ali, Hermosillo, Víctor, Rafa, Anabel, Viviana, a Rene y Omar por ser más que mis amigos mis hermanos, a mi familia.

The Future Is Unwritten.

GLOSARIO

Absorción Atómica	Técnica que se utiliza para determinar la concentración de un elemento particular (analito) en una muestra.
Análisis	Consiste en identificar los componentes de un todo, separarlos y examinarlos para lograr acceder a sus principios más elementales.
Ambiente	Atmósfera o aire de un lugar.
Concentración	La relación entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolución.
Contaminante	Sustancia indeseable presente en el medio ambiente, generalmente con efectos peligrosos para la salud.
Curtosis	Estudiar la proporción de la varianza que se explica por la combinación de datos extremos respecto a la media en contraposición con datos poco alejados de la misma.
Emisión	Exhalación o expulsión de algo hacia afuera.
Desviación estándar	Promedio o variación esperada con respecto a la media aritmética.
Indicador	Elemento o dispositivo que muestra cierto cambio según el medio en el cual se encuentra.
Interpolación	La obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos.
Mapa	Conjunto de elementos de un mismo tipo o categoría que tienen una distribución espacial determinada.

Máximo	El mayor valor de una variable numérica.
Media	Es el promedio aritmético de las observaciones.
Mediana	Es el valor que separa por la mitad las Observaciones ordenadas de menor a mayor, de tal forma que el 50% de estas son menores que la mediana y el otro 50% son mayores.
Moda	Es el valor de la variable que más veces se repite, es decir, aquella cuya frecuencia absoluta es mayor. No tiene por qué ser única.
Mínimo	Valor más pequeño de una variable numérica.
Monitoreo	Proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa en pos de la consecución de sus objetivos, y para guiar las decisiones de gestión.
Muestreo	Selección de un conjunto de personas o cosas que se consideran representativo del grupo al que pertenecen, con la finalidad de estudiar o determinar las características del grupo.
Partículas	Pueden existir en cualquier forma, tamaño y pueden ser partículas sólidas o gotas líquidas.
Suelo	Parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre él.

LISTA DE ACRÓNIMOS

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Microgramo por metro cúbico.
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua.
d^2	Error muestral.
Desv.est.	Desviación estándar.
DHH.gov.	The U.S. Department of Health and Human Services.
EEA	Espectrofotometría por absorción atómica.
E	Este.
g/cm^3	Gramo por centímetro cúbico.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
L1	Hojas lavadas muestreo 1.
L2	Hojas lavadas muestreo 2.
L3	Hojas lavadas muestreo 3.
n	Número de muestreos.
N	Norte.
N1	Hojas sin lavar muestreo 1.
N2	Hojas sin lavar muestreo 2.
N3	Hojas sin lavar muestreo 3.
O	Oeste.
PM 2.5	Material particulado menor a 2.5 μm .

PM10	Material particulado menor a 10 μm .
ppm	Partes por millón.
S	Sur.
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SIMA	Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de México.
SRyMA	Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Durango.
z	Nivel de confianza.
σ^2	Desviación estándar.

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Variograma.....	16
Figura 2. Monitoreo de partículas zona poniente ciudad de Durango.	18
Figura 3. Monitoreo de partículas zona oriente en la ciudad de Durango.	19
Figura 4. Ciudad de Victoria de Durango área de muestreo de <i>Ligustrum lucidum</i> ..	22
Figura 5. Cuadrícula de 500 m x 500 m de la zona de muestreo de la ciudad de Durango	23
Figura 6. Puntos de muestreo en la ciudad de Durango.	24
Figura 7. Hojas de <i>L. lucidum</i> A.....	26
Figura 8. Diagrama de Flujo del trabajo en laboratorio.....	28
Figura 9. Mapas de distribución de concentraciones de Cu en las hojas de <i>L. lucidum</i>	33
Figura 10. Mapas de distribución de concentraciones de partículas de Cu.....	33
Figura 11. Mapas de distribución de concentraciones de Fe en las hojas de <i>L. lucidum</i>	37
Figura 12. Mapas de distribución de concentraciones de partículas de Fe.	37
Figura 13. Mapas de distribución de concentraciones de Zn en las hojas de <i>L. lucidum</i>	41
Figura 14. Mapas de distribución de concentraciones de partículas de Zn.	41
Figura 15. Mapas de distribución de concentraciones de Mn en las hojas de <i>L. lucidum</i>	46
Figura 16. Mapas de distribución de concentraciones de partículas de Mn.	46
Figura 17. Mapas de distribución de concentraciones de Pb en las hojas de <i>L. lucidum</i>	51
Figura 18. Mapas de distribución de concentraciones de partículas de Pb.....	51

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de partículas atmosféricas de acuerdo a su morfología.....	6
Cuadro 2. Normas de niveles máximos permisibles en el aire.	8
Cuadro 3. Concentraciones en partes por millón de plomo, cadmio y zinc en hojas lavadas y sin lavar de <i>Elaeagnus angustifolia</i> L. en cinco zonas diferentes de la ciudad de Kayseri, Turquía.	13
Cuadro 4. Concentraciones de hierro y cobre en las hojas lavadas y sin lavar de <i>L. lucidum</i> A en dos zonas de Curitiba, Brasil.....	14
Cuadro 5. Localización de sitios de muestreo en la ciudad de Durango.	25
Cuadro 6. Muestreos del material botánico.	27
Cuadro 7. Concentraciones de Cu en las partículas recuperadas, hojas lavadas y sin lavar de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango.	31
Cuadro 8. Análisis descriptivo de las concentraciones de Cu.	32
Cuadro 9. Concentraciones de Fe en las partículas recuperadas, hojas lavadas y sin lavar de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango.	35
Cuadro 10. Análisis descriptivo de las concentraciones de Fe.....	36
Cuadro 11. Concentraciones de Zn en las partículas recuperadas, hojas lavadas y sin lavar de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango.	39
Cuadro 12. Análisis descriptivo de las concentraciones de Zn.....	40
Cuadro 13. Concentraciones de Mn en las partículas, hojas lavadas y sin lavar de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango.....	44
Cuadro 14. Análisis descriptivo de las concentraciones de Mn.....	45
Cuadro 15. Concentraciones de Pb en las partículas, hojas lavadas y sin lavar de <i>L. lucidum</i> en la ciudad de Durango.....	49
Cuadro 16. Análisis descriptivo de las concentraciones de Pb.....	50
Cuadro 17. Correlaciones entre las medias de cada metal por muestreo.	53

RESUMEN

Se determinó la presencia de metales pesados depositados en el follaje del arbusto Trueno (*Ligustrum lucidum* Aiton), ampliamente distribuido en la ciudad de Durango. El muestreo se efectuó en 30 sitios aleatorios en un periodo de dos años, durante los meses de octubre (2013) y marzo (2014).. Las muestras fueron tratadas por digestión ácida y los metales pesados se cuantificaron mediante un espectrofotómetro de absorción atómica utilizando un horno de grafito como detector. Los datos se sometieron a una interpolación espacial utilizando el método de Kriging ordinario mediante el uso del software Idrisi Kilimanjaro, el cual por medio de imágenes tipo mapa señala las zonas con mayor concentración de los diferentes metales pesados en la ciudad. Los resultados mostraron que las concentraciones más altas se encuentran en lugares con suelos desnudos y cercanos a la industria minera del Cerro del Mercado.

Palabras clave: *Ligustrum lucidum* Aiton, Trueno, metales pesados, distribución, Kriging ordinario, mapa.

ABSTRACT

The presence of heavy metals deposited on foliage shrub Thunder (*Ligustrum lucidum* Aiton), widely distributed in the city of Durango was determined. Sampling was conducted in 30 random sites within a period of two years, during the months of October (2013) and March (2014) .. The samples were treated by acid digestion and heavy metals were quantified using an atomic absorption spectrophotometer using graphite furnace as detector. The data were subjected to a spatial interpolation using ordinary Kriging method using the software Idrisi Kilimanjaro, which by type map image shows the areas with the highest concentration of different heavy metals in the city. The results showed that the highest concentrations are found in places with naked near the mining industry Cerro del Mercado soils.

Keywords: *Ligustrum lucidum* Aiton, Thunder, heavy metals, distribution, ordinary Kriging map.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Durango, Durango, México en los últimos años la población ha manifestado una inquietud por conocer la calidad del aire que respira, principalmente a la capa de polvo que cubre la ciudad, esta se aprecia principalmente por las mañanas, siendo más evidente durante las temporadas de otoño-invierno. El conocer las características fisicoquímicas de las partículas suspendidas en el ambiente es de gran importancia para la personas de la ciudad, debido a que la existencia de altas concentraciones de metales pesados en ellas, pueden ocasionar problemas a la salud y provocar desde un simple resfriado, dolor de cabeza o incluso la muerte.

El uso de organismos vegetales para evaluar la contaminación atmosférica se ha incrementado notablemente en los últimos años, debido a que estos organismos son capaces de retener contaminantes en sus tejidos o superficie en proporción a los niveles ambientales y podrían ser utilizados como indicadores (Aidid, 1988). El trueno (*L. lucidum*) se ha utilizado en varios estudios para determinar la distribución y concentraciones de los metales pesados a los que puede estar expuesta la población, pues estos se depositan en su follaje a través de las partículas suspendidas que son transportadas en el aire y se acumulan dentro de sus tejidos y/o en la superficie de sus hojas. Esta especie vegetal cuenta con una amplia distribución en la ciudad de Durango.

El objetivo de esta investigación es presentar un panorama general de la concentración y distribución de los diferentes metales pesados presentes en las partículas suspendidas en el aire ambiente de la ciudad de Durango, las cuales se cuantificaran en el follaje del *L. lucidum*, A. por espectrofotometría de absorción atómica y con la utilización de métodos de interpolación conocer las zonas de la ciudad con mayor concentración de los diferentes metales. Con esta información se podrá participar en la problemática que se presenta en la ciudad y contribuir para la toma de decisiones de las autoridades competentes en temas ambientales.

I. ANTECEDENTES

1.1. Contaminación atmosférica.

Se considera un contaminante atmosférico a toda la materia o forma de energía de propiedades físicas o químicas que al encontrarse en el aire a altas concentraciones que pueda ocasionar un daño en el hombre, animales, vegetales o materiales y a su vez provocar un cambio en las condiciones meteorológicas o climáticas del planeta (Acosta, 2011). Anteriormente se consideraba que el planeta tenía en su atmósfera suficientes elementos para diluir los contaminantes a ella vertidos, pero el incremento de las emisiones tanto de manera directa como indirecta, produce consecuencias adversas sobre el mismo (Sanín, 2002).

Las ciudades son por naturaleza concentraciones de humanos, materiales y actividades, por lo cual exhiben niveles muy altos de contaminación dando lugar a un impacto ambiental (Anze *et al.*, 2007). Las altas concentraciones de personas tienen como consecuencia, un aumento en la contaminación atmosférica debido entre otros a la alta circulación de autos (fuente móvil) y el aumento de casas habitación (fuente fija) (Santoni, 2006).

El tráfico es una de las principales fuentes contaminantes dentro de la ciudad y esta actividad genera partículas y aerosoles, de diferentes dimensiones (entre ellos los metales pesados) en el ambiente urbano, fácilmente inhaladas por las personas debido a su estrecha proximidad y en consecuencia, esta contaminación afecta directamente la salud pública (Rucadio *et al.*, 2010).

1.2. Fuentes de contaminación atmosférica.

La única forma efectiva de controlar la contaminación atmosférica es previniendo la emisión desde su fuente. Existen cuatro fuentes de emisión de contaminantes, las cuales por el origen de sus contaminantes se han agrupado en dos categorías: fuentes naturales y fuentes antropogénicas

1.2.1 Fuentes naturales.

Distintas actividades naturales contribuyen en el fenómeno de la contaminación: tal es el caso de las erupciones volcánicas que, emiten partículas y contaminantes gaseosos hacia la atmósfera, tales como el dióxido de azufre, ácido sulfhídrico y metano; las nubes de partículas y gases originados por los volcanes han permanecido en la atmósfera durante largos periodos. Los incendios forestales son usualmente clasificados como fuentes naturales, estos generan gran cantidad de contaminantes como, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y cenizas. Las tolvaneras contienen grandes cantidades de partículas y constituyen una fuente natural de contaminación (Bravo, 1986).

1.2.2 Fuentes antropogénicas.

Son los contaminantes generados por las diversas actividades humanas y pueden ser de tipo:

- **Fuentes fijas.**

Toda instalación establecida en un solo lugar que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o que generen emisiones contaminantes a la atmósfera (INE-SEMARNAT, 2012).

- **Fuentes de área**

Son aquellos puntos de emisión de contaminantes atmosféricos que son demasiado numerosos y dispersos. En lo individual no emiten grandes cantidades de contaminantes, pero que en lo colectivo, su emisión representa un porcentaje significativo. Algunos ejemplos de estas fuentes son los procesos de combustión interna similares a los vehículos pero que no circulan por las calles o carreteras, fuentes semi-estacionarias, uso de solventes y fuentes agrícolas entre otros (INE-SEMARNAT, 2012).

• Fuentes móviles.

Las constituyen los vehículos automotores que incluyen automóviles, camiones, motocicletas, aviones, ferrocarriles, helicópteros, tranvías, embarcaciones y autobuses, y que con su operación generan emisiones a la atmósfera. En la mayoría de las zonas urbanas estas fuentes son las principales generadoras de las emisiones contaminantes. Este tipo de fuentes se maneja separadamente de las fuentes de área, debido a la magnitud de sus emisiones y a las consideraciones especiales requeridas para estimar su volumen (INE-SEMARNAT, 2012).

1.3. Partículas suspendidas.

Este término hace referencia a cualquier sustancia líquida, sólida o gaseosa, orgánica o inorgánica dispersa en el aire, procedente de fuentes naturales o artificiales. La definición de partículas se suele establecer en términos de la velocidad de depósito de las mismas. En este sentido, se denominan "partículas en suspensión" aquellas con diámetros desde muy por debajo de 0,1mm hasta 5-10mm, que permanecen suspendidas durante horas o días; las partículas más grandes caen rápidamente cerca de la fuente que las produce.

Otra forma de distinguir las se refiere a los diferentes métodos usados en su vigilancia de rutina. Se habla de "humos negros" en el caso de partículas con capacidad de tiznar (refiriéndose sólo a la sustancia oscura característica de la combustión incompleta del carbón y de los hidrocarburos) y "total de partículas en suspensión" para las observaciones que se basan directamente en el peso, pudiéndose filtrar por tamaños (por ejemplo, la medición se referirá a PM_{10} o $PM_{2,5}$ si pasan a través de un orificio de entrada calibrado con un rendimiento de separación de 50% para un diámetro aerodinámico de 10 mm o 2,5 mm respectivamente).

Los elementos encontrados en las partículas varían mucho según las fuentes locales, pero, en general, los principales componentes son carbono, material alquitranado (hidrocarburos), material soluble en agua, como el sulfato de amonio, y material

insoluble conteniendo pequeñas cantidades de hierro, plomo, manganeso y otros elementos, como el polen (SIMAT, 2010).

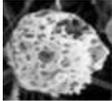
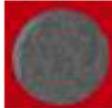
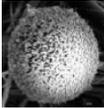
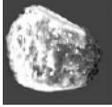
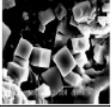
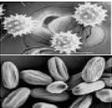
La Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993 de PST, PM₁₀ y PM_{2.5} establece como límites de protección a la salud (SIMAT, 2010):

- Una concentración de PST de 210 µg/m³ promedio de 24 horas.
- Una concentración de PM₁₀ de 120 µg/m³ promedio de 24 horas y 50 µg/m³ media aritmética anual para proteger a la población susceptible. Dado los efectos de este tipo de partículas en la salud, son motivo de amplias discusiones para reformular las normas, debido a que en concentraciones bajas (30 a 150 µg/m³) hay un incremento en la demanda de atención médica por padecimientos crónicos respiratorios y aumento de muertes prematuras.
- Una concentración de PM_{2.5} de 65 µg/m³ promedio de 24 horas y 15 µg/m³ media aritmética anual para proteger a la población susceptible.

1.3.1. Morfología de las partículas suspendidas.

La morfología de las partículas suspendidas nos ayuda a conocer sus propiedades físicas y químicas. Dentro de las propiedades físicas encontramos forma, textura, tamaño y aspecto, dentro de su composición química se consiguen precisar la presencia de elementos o contaminantes específicos que influyen en la composición de las partículas. En el cuadro 1 se muestra una clasificación de partículas de acuerdo a su morfología obtenida por Umbría *et. al.*, (2004).

Cuadro 1. Clasificación de partículas atmosféricas de acuerdo a su morfología

Denominación	Características	Ejemplo
Cenósfera: partícula porosa de baja densidad (menor que el agua)	Partículas de combustión, generalmente de combustibles fósiles. Con una matriz carbonosa y alto contenido de Si pueden contener metales.	0.1 μm - 10 μm 
Esférica lisa: partícula esférica con superficie lisa	Partícula de combustión, generalmente carbón mineral y matriz de Si y Al	0.1 μm - 10 μm 
Esférica rugosa: partícula con diámetro cercano a 1nm, con superficie rugosa	Partícula de hornos de fundición. Compuestos principalmente por una gran cantidad de elementos metálicos en forma de óxidos.	.1nm – 1nm 
Irregulares: particularmente claramente definidas, similares a rocas o fragmentos de vidrios con picos y filos.	Usualmente provienen del suelo o emisiones. La matriz puede ser de Ca, Al	>2.5 μm 
Amorfos : partículas que no presentan una forma definida	Formadas por agregados de otras pequeñas partículas varían en composición de acuerdo a su origen	10nm - 1 μm 
Cristalizaciones: presentan estructuras regulares y simétricas	Pueden ser naturales o artificiales, provienen de sales disueltas que evaporan y forman los cristales. Generalmente son cloruros y sulfatos	< 2.0 μm 
Biológicos: partículas altamente estructuradas con texturas complejas y distribuciones regulares	Partículas vegetales o animales fosilizadas o no, fáciles de identificar. Basados principalmente en estructuras de C y fósiles de Si	100nm-100 μm 

Fuente: Characterization of atmospheric particles: analysis of particles in the campo Gibraltar (2004).

1.4. Influencia de los fenómenos meteorológicos.

La concentración de contaminantes atmosféricos se ve afectada por diferentes variables meteorológicas como la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar, las cuales a su vez controlan la velocidad con la que se realizan las reacciones químicas atmosféricas. Por otro lado, la dispersión de los contaminantes se ve influenciada por la velocidad y dirección de los vientos (Ramos *et al.*, 2010).

La naturaleza tiene la capacidad de depurar en cierta medida la presencia de contaminantes mediante la lluvia, el viento y la vegetación que pueden remover los contaminantes, transformarlos o inmovilizarlos, sin embargo, esta capacidad de limpieza tiene límites de manera natural, por lo que los problemas reales de contaminación surgen cuando las emisiones contaminantes son excesivas y sobrepasan dicha capacidad (SEMARNAT, 2008).

Grandes cantidades de precipitación en una zona alteran la densidad y distribución de tamaño de las partículas de una manera más eficiente que la humedad relativa o la velocidad de los vientos (Kumar *et al.*, citado por Morales, 2009).

1.5. Metales pesados en el aire

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad mayor que 4 g/cm^3 hasta 7 g/cm^3 , o cuyo número atómico sea superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). El término siempre suele estar relacionado con la toxicidad que presentan, aunque también se emplea el término "elemento tóxico" o "metal tóxico". Dentro de los metales pesados hay dos grupos (Herrera, 2009):

- Oligoelementos o micronutrientes: Necesarios en pequeñas cantidades para los organismos, pero tóxicos cuando pasan el umbral de seguridad. Incluyen: arsénico (As), boro (B), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), níquel (Ni), selenio (Se) y zinc (Zn) (Herrera, 2009).
- Metales pesados sin función biológica conocida. Son altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son,

principalmente: cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), cobre (Cu), níquel (Ni), estaño (Sb), bismuto (Bi) (Herrera, 2009).

El trabajo realizado por Fernández *et al.*, (2000), concluye que los metales Pb, Cu, Ni, Cr, Cd y Fe encontrados en las muestras de partículas suspendidas totales son atribuidos principalmente al tráfico vehicular, mientras que metales como Fe, Mn, Pb, Cu y Zn aparecen en diferentes tipos de fuentes como suelo, tráfico vehicular e industrias. Por otra parte, Sternbeck *et al.*, (2002), consideran que los metales derivados de los vehículos son principalmente Cu, Zn, Cd, Sb, bario (Ba) y Pb; sin embargo, la combustión es una fuente insignificante de Ba, Cu, Pb y Sb.

En el Cuadro 2 se muestran los límites permisibles y de interés para la EPA y la OMS a nivel internacional, mientras que México la NOM-025-SSA sólo contempla al plomo con un límite máximo de 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Cuadro 2. Normas de niveles máximos permisibles en el aire

	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Norma	Nivel de fondo
EPA	Pb	0.5	0.00005
OMS	Cu	0.2	0.005
OMS	Mn	0.15	0.01
OMS	Zn	0.15	0.02

Fuente: Valoración de metales pesados en PST en biomasa de caña (2008).

El nivel fondo es el nivel máximo al cual se considera que la contaminación de este metal no produce ningún efecto sobre la población expuesta (Arroyo *et al.*,2008).

1.6. Efectos en la salud debido a los metales pesados presentes en el aire

El conocimiento de la composición química de las partículas que se encuentran en el aire es importante desde el punto de vista tanto epidemiológico como técnico, ya que es posible determinar el potencial efecto en la salud humana por la presencia de metales pesados adheridos a este diminuto material (Piñeiro *et. al* ,2003). Por lo que a continuación se describe como los siguientes metales afectan la salud humana Cu, Fe, Pb, Zn y Mn

- **Plomo.**

Cuando se libera plomo al aire, este puede viajar largas distancias antes de depositarse en el suelo. Una vez ahí, generalmente se adhiere a las partículas del suelo (Spiro y Stigliani,2004).Los efectos del plomo son los mismos ya sea ingerido o inhalado. Puede afectar a casi todos los órganos y sistemas del cuerpo, el más sensible es el sistema nervioso tanto en niños y adultos (DHHS.gov, 2010).

Entre los efectos más comunes están el vómito, dolor de cabeza, falta de apetito, daños a los riñones, dificultad para dormir, dolores musculares y de las coyunturas, daños en el sistema reproductivo y sistema nervioso (DHHS.gov, 2010).

- **Zinc.**

El zinc es un componente natural de la corteza terrestre y es parte inherente del medio ambiente. Está presente no solo en rocas y suelos sino también en aire, el agua, plantas y animales. Cierta cantidad de zinc es liberada al ambiente por procesos naturales pero la mayor parte proviene de actividades humanas: la minería, producción de acero, combustión de petróleo e incineración de basura. Por lo que se adhiere al suelo a través de sedimentos y partículas de polvo en el aire (DHHS.gov, 2010).

Los efectos nocivos generalmente suelen manifestarse a concentraciones de 10 a 15 veces más altas que las necesarias para mantener buena salud. La ingestión de grandes cantidades durante un periodo breve, pueden ocasionar calambres estomacales y vómitos (DHHS.gov, 2010).

- **Manganeso.**

El manganeso es un metal de transición, similar al hierro que en cantidades normales puede ser esencial para todas las formas de vida. Sin embargo, en exceso es altamente tóxico, puede entrar al aire desde plantas de hierro, acero, de centrales eléctricas y de polvo generado por operaciones mineras (DHHs.gov., 2010)

El nivel promedio de manganeso en la atmósfera es de 0.01 miligramos por metro cúbico (Gámez, 2013).

La exposición a altos niveles de manganeso en el aire puede causar problemas respiratorios, afectar la habilidad motora, la ejecución de rápidos movimientos manuales, y mantener el equilibrio (DHHs.gov., 2010).

- **Cobre.**

Es un metal que ocurre naturalmente en el ambiente en rocas, el suelo, el agua y el aire, es un elemento esencial para plantas y animales (incluso seres humanos), lo que significa que es necesario para la vida. Por lo tanto, las plantas y los animales deben absorber cobre de los alimentos o bebidas que ingieren, o del aire que respiran. Los compuestos de cobre pueden degradarse y liberar cobre al aire, el agua o los alimentos. La inhalación de niveles altos de cobre puede producir irritación de nariz, garganta, anemia, problemas estomacales, daño en los riñones y el hígado (DHHs., 2010).

- **Fierro.**

La presencia de numerosas partículas de hierro con diferentes estructuras morfológicas se asocia a procesos de transformación de la industria metal mecánica y/o al arrastre de éste de escapes de autotransporte, tanto como a su origen vegetal (Romero y Reyes, 2005).

1.7. Monitoreo del ambiente a través de la vegetación.

El uso de organismos vegetales para llevar a cabo la valoración de la contaminación atmosférica se ha incrementado notablemente en los últimos años, debido a que estos organismos son capaces de retener contaminantes en sus tejidos o superficie en proporción a los niveles ambientales, por lo cual pueden ser usados como indicadores (Aidid, 1988). La relación que existe entre las emisiones y los niveles de contaminación atmosférica varían dependiendo de la ciudad ya que la planificación de la infraestructura de ésta determina el patrón de emisión, mientras que factores

como la meteorología y la topografía determinan la dispersión de los contaminantes (Rucadio *et al.*, 2010). El uso de métodos de indicación, monitoreo y ensayo utilizando organismos vegetales son una herramienta de gestión, diagnóstico y monitoreo que deben ser adaptados a las condiciones climáticas y económicas de los distintos países (Anze *et al.*, 2007).

El monitoreo de contaminantes atmosféricos utilizando especies vegetales puede clasificarse en dos grupos según el modelo que se emplea para determinar los contaminantes:

- **Monitoreo pasivo.** Es aquel donde se utilizan plantas presentes en los ecosistemas a evaluar y está relacionado con la necesidad de cubrir zonas amplias de investigación, además, estas plantas no necesitan ningún cuidado especial dado que ya están adaptadas al medio. En esta clase de monitoreo se debe tomar en cuenta criterios relacionados con la heterogeneidad de las condiciones de vida: la calidad del suelo, las condiciones climáticas, la temporada, la variabilidad genética, el estado metabólico y la heterogeneidad de la distribución espacial de las especies seleccionadas (Falla y Laval-Gilly, 1999).
- **Monitoreo activo.** Se lleva a cabo con especies introducidas (trasplantes) o se utiliza en sistemas de exposición controlada dentro de un laboratorio (Anze *et al.*, 2007).

Para un monitoreo con especies vegetales, se deben tomar en cuenta los siguientes criterios propuestos por Rucadio *et al.*, (2010):

- Acumulan altos niveles de contaminantes sin morir.
- Se sirven del medio para vivir, lo que es una representación perfecta de la contaminación local.
- Deben ser abundantes y de amplia distribución para poder realizar muestreos repetitivos y las comparaciones.
- Deben de ser de vida larga para comparar entre distintas edades las concentraciones de los contaminantes absorbidos o retenidos.

- Deberán ser de fácil muestreo y manejo en el laboratorio.

De acuerdo a Alcalá *et al.*, (2011), con las plantas se deben priorizar los siguientes aspectos:

- Temporalidad del follaje.
- Tipo de hoja.
- Resistencia de las especies a agentes contaminantes y biológicos.

Las plantas han actuado como indicadores de partículas suspendidas en el aire debido a que se depositan en la vegetación cercana a la fuente de emisión (Wannaz *et al.*, 2012).

Varios tipos de especies de plantas han sido utilizadas en diferentes estudios de partículas suspendidas de las que podemos mencionar *Acacia melanoxylon* R. Br., *Hedera hélix* L., *Acacia caven* (Mol.) Mol., *Geoffroea decorticans* Hook. & Arn., *Prosopis nigra* (Griseb.), *Ulmus procera* Salisb., *Platanus occidentalis* L., *Junglas nigra* L., *Eucalyptus globulus* Labill., *Tilia europea* (Common Linden), *Abies alba* Mill, *Larix decidua* Mill, *Melia azedarach* L., *Fraxinus spp.*, *Cupressus arizonica* Greene y *Morus spp.*, todos estos estudios bajo condiciones diferentes (Alcala *et al.*, 2011).

En el estudio realizado por Amitosh y Singh (2005) en el cual se utilizaron dos tipos de especies vegetales (*Thevetia nerifolia* y *Ficus religiosa*) para estimar la contaminación atmosférica por partículas suspendidas de la ciudad de Lucknow, India, se determinaron concentraciones máximas de metales pesados en las partículas suspendidas en las cuales la concentración de fierro fue de 52.76 ppm, así como concentraciones de Cu, Zn y Ni en las cuales se determinaron las siguientes concentraciones 6.27 ppm, 3.13 ppm, 0.02 ppm respectivamente. En 1994 Singh N. *et al.*, realizaron en la misma ciudad, un estudio utilizando el arbolado urbano a lo largo de 10 transeptos de carretera donde determinaron las concentraciones de Pb que contenían las partículas suspendidas en las hojas de diferentes especies entre ellas el *Eucalyptus* con una concentración de 33.19 ppm, la *Bougainvillea* con 32.68, la *Drosera regia* 5.03 ppm, y *Cassia fistula* 45.4.

Otros estudios referentes a la determinación de contaminación por metales pesados es el realizado por Aksoy y Sahin en el año de 1998 en 5 zonas diferentes de la ciudad de Kayseri, Turquía en el que se utilizó el follaje de *Elaeagnus angustifolia* L. obteniéndose las concentraciones que se muestran en el Cuadro 3:

Cuadro 3. Concentraciones en partes por millón de plomo, cadmio y zinc en hojas lavadas y sin lavar de *Elaeagnus angustifolia* L. en cinco zonas diferentes de la ciudad de Kayseri, Turquía

	Pb		Cd		Zn	
	ppm		ppm		ppm	
	Sin lavar	Lavada	Sin lavar	Lavada	Sin lavar	Lavada
Industria	180.21	65.2	3.45	1.25	231.2	102.1
Carretera	75.82	35.25	1.38	0.66	83.52	40.22
Urbana	50.56	28.38	1.11	0.61	69.14	37.25
Suburbana	30.45	24.32	0.8	0.6	38.16	40.22
Rural	16.81	15.41	0.5	0.48	22.8	102.1

1.7.1 Uso de *Ligustrum lucidum* A. en monitoreo de partículas suspendidas.

Es originario de China y cultivado como ornamental, alcanza alturas de 4 a 8 m, se caracteriza por hojas gruesas algo carnosas y lustrosas con el haz de color verde oscuro y el envés verde claro (Dimitri,1972). En sus hojas presenta células epidérmicas pequeñas, cutícula gruesa y paredes anticlinales rectas o ligeramente onduladas que contribuyen a soportar diversas funciones de estrés (Pyykko,1970).Por este motivo el follaje cumple un importante papel como receptor del polvo atmosférico y se ha comprobado que sirve como parámetro de referencia sobre el grado de contaminación del aire (Dalmasso *et al.*, 1997).

De acuerdo a Bruno *et al.*, (2007), el *L. lucidum* reúne todas las características para ser considerado un indicador de la contaminación atmosférica, debido a que presenta hojas perennes, la morfología de su hoja, además muestra una sensibilidad significativa presentando síntomas reconocibles en su anatomía, que indicarían la calidad del aire y a su vez se distribuye ampliamente en la zona urbana. Por esta

razón, se ha utilizado en diferentes estudios como el realizado por Takoe y Bruno (1990) en Curitiba, Brasil en dos zonas de la ciudad: una de alto tráfico vehicular y la otra en un parque en las afueras, donde se encontro como las concentraciones de Cobre, Hierro y partículas suspendidas producidas por los vehículos alteraban la función fotosintética de la planta, Cuadro 4:

Cuadro 4. Concentraciones de hierro y cobre en las hojas lavadas y sin lavar de *L. lucidum* A en dos zonas de Curitiba, Brasil

Sitio	Fe (ppm)		Cu (ppm)	
	Lavadas	Sin lavar	Lavadas	Sin lavar
Carretera	56.8	116	6.7	7.6
Parque	46	57.1	9.4	9.3

Otro estudio fue el realizado por Bruno *et al.*, (2007) que tuvo como objetivo estudiar los efectos de la contaminación ambiental en la anatomía de la hoja.

1.8 Geoestadística.

La geoestadística brinda herramientas para la exploración y caracterización estadística de datos puntuales de muestra. También provee un número de técnicas para la interpolación de superficies a partir de dichos datos, entre ellas el *kriging* ordinario es la más conocida. Diversas técnicas de este tipo se originaron con científicos que trabajan en la industria minera, en donde son analíticamente importantes los valores de esos datos y las ubicaciones. Estas técnicas geoestadísticas proporcionan a los analistas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) la habilidad para incorporar información acerca de los patrones de continuidad espacial en el modelo de interpolación y también para producir superficies que incluyen artefactos de variación local. Los métodos permiten un alto grado de flexibilidad para la detección y definición de estructuras que describen la naturaleza de un grupo de datos (Eastman 2003). El principal propósito de esta herramienta, es el de estimar o predecir el valor de una variable en localidades donde no se conocen

sin que exista un sesgo y con el mínimo error, a partir de la mínima información conocida.

Para el cálculo del *kriging*, se emplea la siguiente fórmula.

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i$$

Donde:

n : Número de muestras obtenidas

f_i : Valor obtenido en el punto i

w_i : Peso designado al punto i .

Para obtener los pesos de cada uno de los n puntos, para cada uno de ellos se realiza un cálculo de w_1, w_2, \dots, w_n . Este procedimiento depende del tipo de *kriging* que se utiliza y se hace hincapié en la siguiente notación

w_j : peso del j -ésimo punto

$S(d_{ij})$: valor de la semivariancia de d_{ij}

λ : variable temporaria

1.8.1 Interpolación *Kriging* ordinario.

Las medias locales no son necesariamente próximas de la media de la población, usándose apenas los puntos vecinos para la estimación. Este método es el más ampliamente utilizado en los problemas ambientales.

En este caso se utiliza la media local de los puntos mostrados. Por consiguiente, debe normalizarse la media de los pesos y consecuentemente, se tiene un resultado más preciso del *Kriging* Simple. Para el cual se utilizan las siguientes ecuaciones para determinar los valores de los pesos en el p -ésimo punto:

$$\begin{aligned}
 w_1 S(d_{11}) + w_2 S(d_{12}) + \dots + w_n S(d_{1n}) + \lambda &= S(d_{1p}) \\
 w_1 S(d_{21}) + w_2 S(d_{22}) + \dots + w_n S(d_{2n}) + \lambda &= S(d_{2p}) \\
 &\vdots \\
 w_1 S(d_{n1}) + w_2 S(d_{n2}) + \dots + w_n S(d_{nn}) + \lambda &= S(d_{np}) \\
 w_1 + w_2 + \dots + w_n &= 1
 \end{aligned}$$

1.8.2 Modelar variograma.

El ajuste a una función permite extraer una serie de parámetros que son los que van a ser usados para la interpolación geostatística y que definen el grado y escala de variación espacial.

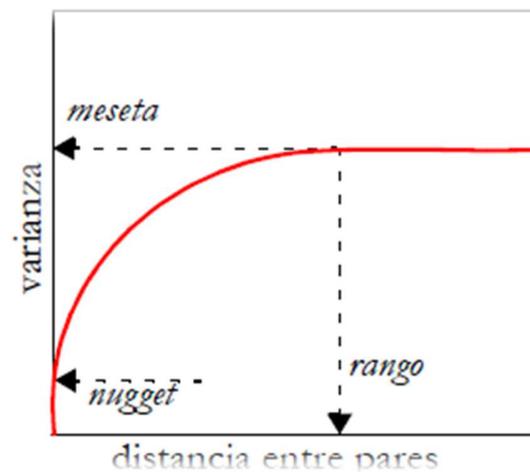


Figura 1. Variograma.

Fuente: Manual de idrisi Kilimanjaro, 2003.

El rango es la distancia a la que la semivarianza deja de aumentar e indica la distancia a partir de la cual las muestras son especialmente independientes unas de otras. Representa el tamaño de grano o mancha que representa la variable, el nugget es la varianza no explicada por el modelo y se calcula como la intercepción con el eje y, el sill o meseta es la máxima semivarianza encontrada entre pares de puntos y debe coincidir con la varianza de la población la cual representa el grado de

variación espacial y por lo tanto el grado de incertidumbre a la hora de interpolar puntos en el espacio (Hernández, 2007).

II.JUSTIFICACIÓN

Es conocido que la contaminación del aire constituye uno de los principales problemas ambientales que afecta al planeta. Este problema se presenta principalmente en los centros urbanos debido a que son áreas donde se concentra gran parte de la población. Los distintos tipos de contaminantes atmosféricos como lo son los hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOX), dióxido de azufre (SO₂), partículas (PM), etc. Se encuentra presentes en el aire de los centros urbanos ocasionado daños al ambiente y la salud humana. Estos efectos en la salud humana pueden ir desde irritaciones leves de ojos, nariz y garganta, hasta enfermedades más graves.

En los últimos años la calidad del aire de la ciudad de Durango ha decaído (SEMARNAT, 2011) como se muestra en las siguientes figuras, donde se puede observar un aumento de partículas suspendidas (SRyMA, 2012).

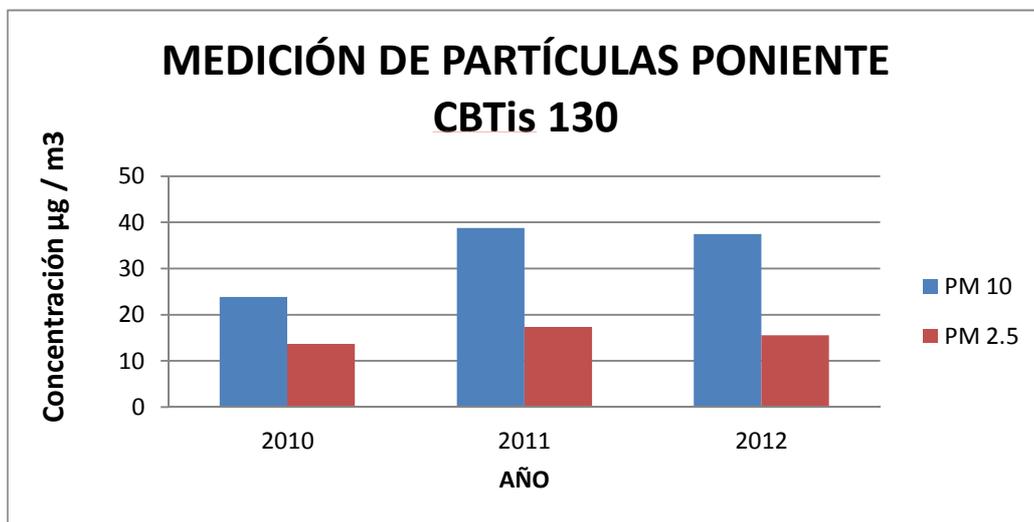


Figura 2. Monitoreo de partículas zona poniente ciudad de Durango

Fuente: Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Durango.

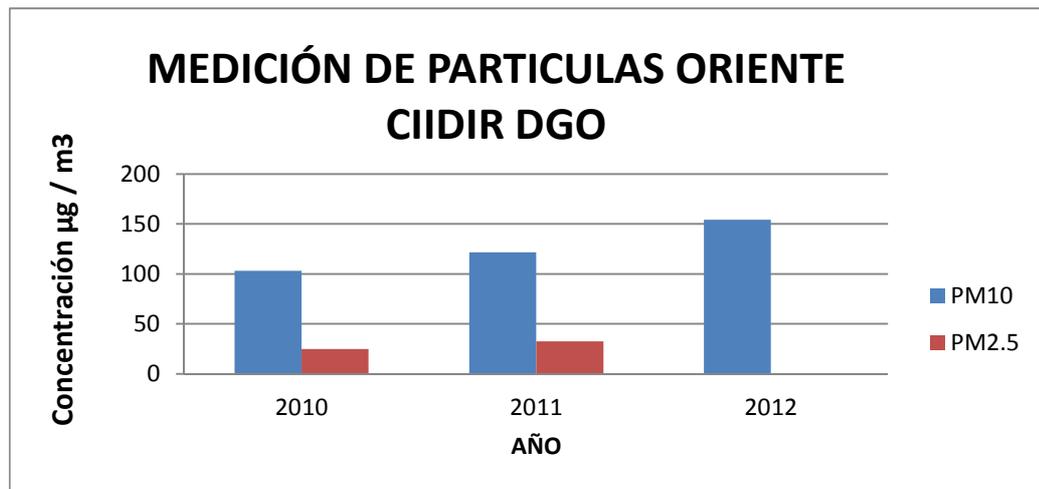


Figura 3. Monitoreo de partículas zona oriente en la ciudad de Durango.

Fuente: Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Durango.

La red de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Durango cuenta con 3 estaciones (CIIDIR, CBTiS 130 e ITD), en las cuales sólo se registra las concentraciones de las partículas en la atmósfera pero no se cuenta con la información de los compuestos que las forman.

Por lo cual, el monitoreo de partículas contaminantes formadas por metales pesados es un problema muy complejo en el que es necesario implementar técnicas de monitoreo sensibles de bajo costo que abarquen más zonas de la ciudad y a su vez determinar la composición química de estas partículas.

Debido al problema expuesto, se propone elaborar un monitoreo utilizando el trueno (*L. lucidum*) el cual ya está adaptado a las condiciones de la ciudad y además, tiene una gran distribución en toda el área (González -Elizondo., 2008). A si mismo se realizaran análisis fisicoquímicos para determinar la composición de las partículas, ya que conocer la composición química de las partículas y su concentración en el ambiente, esto tiene relevancia no solo desde el punto de vista de la química de la atmósfera, sino también sobre la calidad del aire que se respira en las ciudades (Quijano *et al.*, 2010).

III. OBJETIVO.

Determinar la concentración de metales presentes en el follaje del trueno (*L. lucidum* A.) Distribuido en distintas zonas de la ciudad de Durango y evaluar el uso de éste como un indicador de contaminación en el ambiente por metales pesados.

3.1 Objetivos específicos.

- Determinar los sitios de muestreo en la ciudad de Durango y realizar en tres etapas de muestreos.
- Determinar las concentraciones de metales pesados presentes en el polvo atmosférico y el follaje del trueno.
- Generar mapas de la distribución de los metales pesados presentes en la ciudad.

IV. HIPOTESIS.

Las hojas del trueno (*Ligustrum lucidum* A.) pueden ser utilizadas como indicador de presencia de metales pesados presentes en el polvo atmosférico en el ambiente de la ciudad de Durango.

V. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1 Área de estudio.

Se tomara como área de estudio la zona urbana de la ciudad de Victoria de Durango localizada dentro del municipio de mismo nombre en la región centro sur del estado, entre las coordenadas geográficas, al norte $24^{\circ}26'$, al sur $23^{\circ}29'$ de latitud norte. Los meridianos al este $104^{\circ}06'$ y al oeste $105^{\circ}34'$ latitud oeste. (Figura 4)

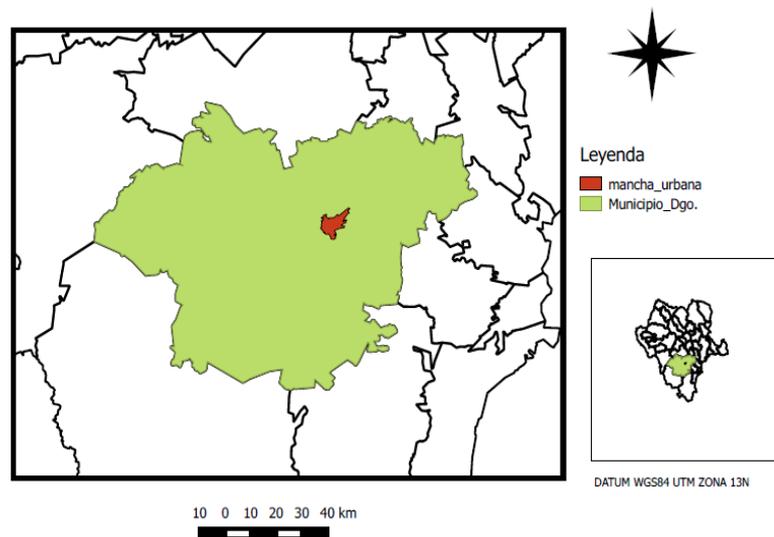


Figura 4. Ciudad de Victoria de Durango área de muestreo de *Ligustrum lucidum*

Fuente: INEGI, 2010. Elaborado con Qgis 2.4 Chugiak.

5.1.1 Delimitación del área de estudio.

Se realizó una cuadrícula de la ciudad de Durango de 500 m x 500 m. En donde cada pixel representa una unidad muestral. Se obtuvieron un total de 300 pixeles dentro de toda la mancha urbana y de ahí se determinó el número de sitios a muestrear conforme la siguiente formula:

$$n = z^2 \sigma^2 / d^2$$

n = número de sitios de muestreo.

$z^2 = 1.96$ para 95% de confianza.

$$\sigma^2 = .765$$

$$d^2 = .05$$

El resultado obtenido indicó que deben realizarse muestreos en 30 sitios. Se numeraron los pixeles dentro de la mancha urbana y su contabilización marcó un total de 300. Enseguida se realizaron 30 sorteos al azar con los 300 números para distribuir aleatoriamente los sitios de muestreo por toda la ciudad (Figuras 5 y 6, Cuadro 5).

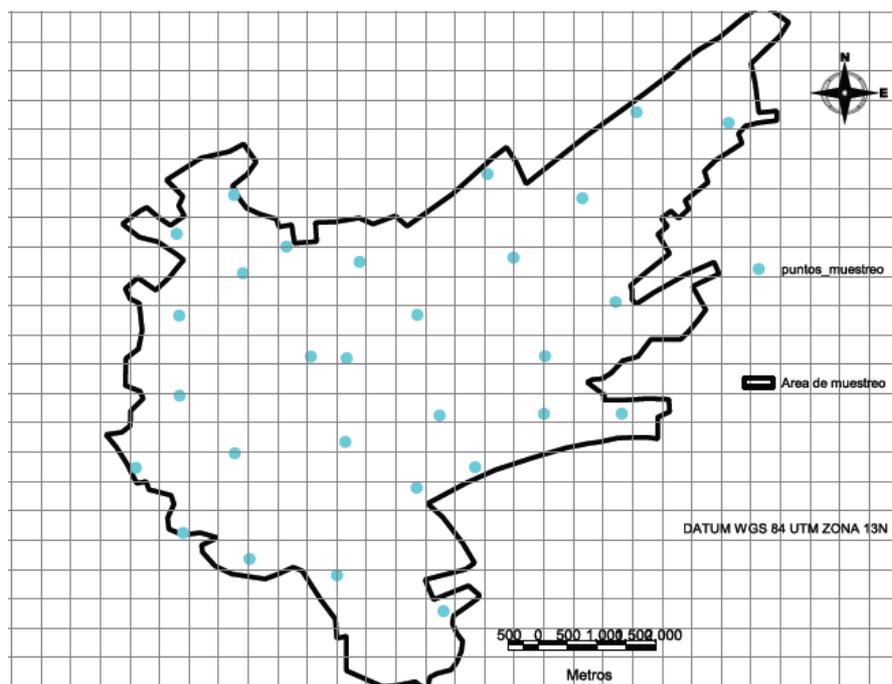


Figura 5. Cuadrícula de 500 m x 500 m de la zona de muestreo de la ciudad de Durango

Fuente: INEGI, 2010. Elaboración utilizando Qgis 2.4 chugiak.

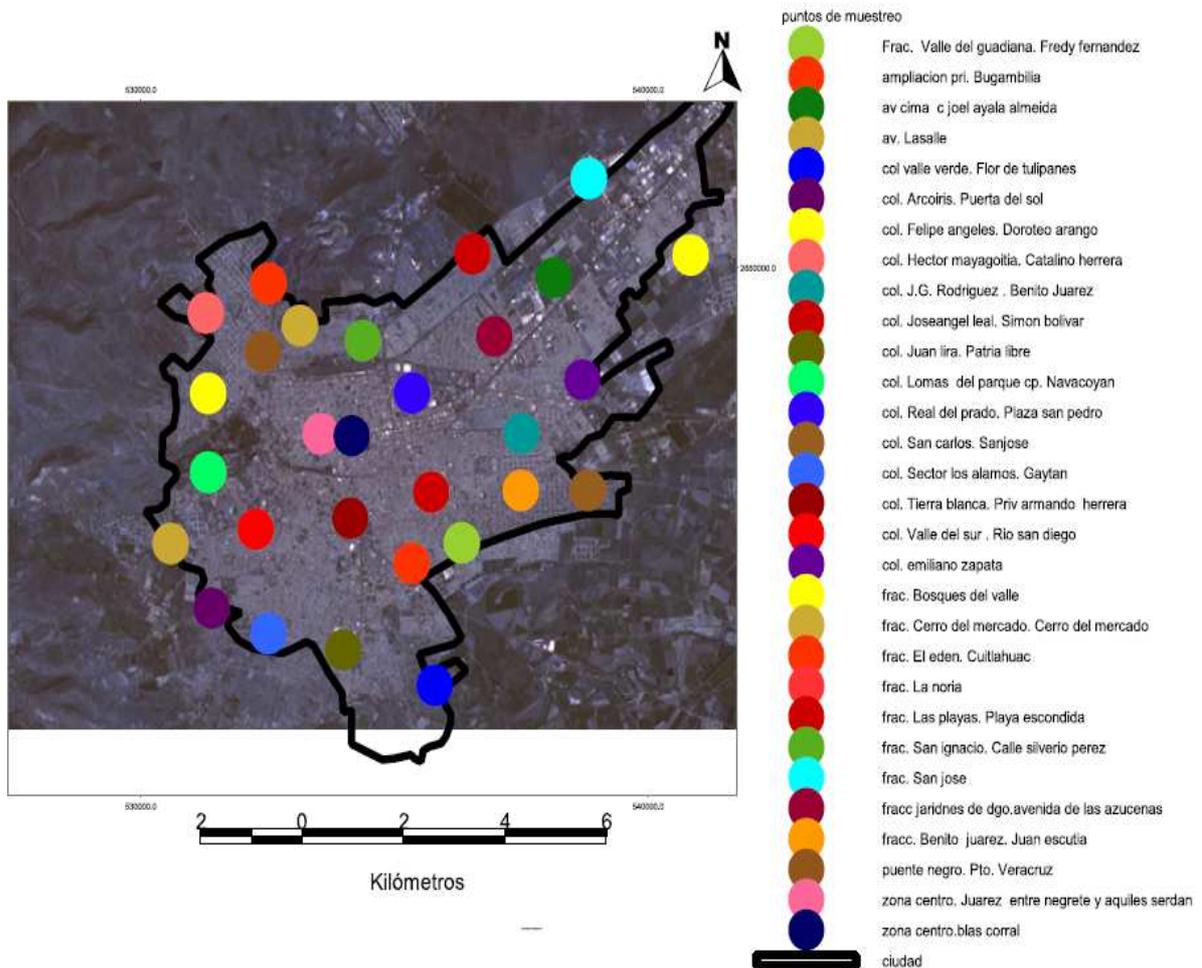


Figura 6. Puntos de muestreo en la ciudad de Durango.

Fuente: INEGI. 2010. Elaborado con QGIS 2.2 Chugiak.

Cuadro 5. Localización de sitios de muestreo(WGS 84 UTM ZONA 13N) en la ciudad de Durango .

Sitio	Longitud	Latitud
Fracc. Bosques del Valle	2660226	540841
Fracc. La Noria	2659090	539486
Col. Emiliano Zapata	2658064	538709
Col. J. Guadalupe Rodríguez	2657142	537511
Col. San Carlos	2656159	538813
Fracc. Benito Juárez	2656159	537497
Fracc. Valle del Guadiana	2655250	536329
Fracc. El Edén	2654895	535343
Col. Valle Verde	2652791	535799
Col. Juan Lira	2653404	533998
Col. Sector Los Alamos	2653686	532516
Col. Arcoíris	2654125	531400
Av. Lasalle	2655239	530597
Col. Valle del Sur	2655485	532269
Col. Lomas del Parque	2656469	531335
Puente Negro	2658552	532412
Col. Felipe Ángeles	2657833	531331
Col. Hectór Mayagoitia	2659222	531288
Ampliación PRI	2659728	532524
Fracc. Las Palmas	2656126	535728
Barrio de Tierra Blanca	2655677	534134
Zona Centro (Juaréz-Negrete y Aquiles Serdán)	2657133	533553
Zona Centro (Blas Corral)	2657102	534162
Col. Real del Prado	2657842	535354
Fracc. Cerro del Mercado	2659007	533142
Fracc. San Ignacio	2658743	534380
Fracc. Jardines de Durango	2658817	536977
Av. Cima	2659831	538143
Col. Jose Angel Leal	2660245	536545
Fracc. San José	2661547	538837

5.2 Especie de muestreo.

Ligustrum lucidum. A. Conocido como trueno en las áreas urbanas del norte-centro de México donde se encuentra presencia de esta especie, alcanza alturas de 8 m., se caracteriza por hojas gruesas algo carnosas y lustrosas con el haz de color verde oscuro y el envés verde claro. Flores blancas bisexuales pequeñas crecen en racimos piramidales erguidos de hasta 20 cm. Polinizado por viento. Fruto globoso, negro azulado y de hasta 1 cm de diámetro, contiene dos semillas jugosas y curvas, dispersado por aves. Originario de China, Corea y Japón. Resistente a la contaminación atmosférica. En China su madera conocida como “madera de cera blanca” se utiliza comúnmente para hacer zancos y armas de artes marciales y los frutos se utilizan como remedio medicinal y como tónico “yin”. Se han desarrollado distintos cultivares con hojas de distintos colores. Puede establecerse y convertirse en invasora. *Ligustrum* es el nombre en latín del árbol. *lucidum* significa lustroso, brillante, alude al brillo de las hojas. También habitan en las ciudades el Trueno verde (*L. japonicum*), y el Trueno común (*L. vulgare*) (CONABIO, 2012).



Figura 7. Hojas de *L lucidum* A.

Fuente: Tomada en la Cd. Durango. Elaboración propia

5.3 Toma de muestras.

Se realizaron tres muestreos en cada uno de los cuales se cortaron 30 hojas a una altura del arbusto de 2.5 m en los diferentes sitios. Los materiales se colocaron en bolsas ziploc y se llevaron hasta el Laboratorio de Instrumentación del CIIDIR-IPN para su análisis. (Cuadro 6)

Cuadro 6. Muestreos del material botánico.

Número de muestreo	Periodo de muestreo	Horario de muestreo
1	21 - 30 de octubre del 2013	5 – 6:30 am
2	10 - 19 de febrero de 2014	5 – 6:30 am
3	21 de marzo al 5 de abril del 2014	5 – 6:30 am

5.4 Análisis químico.

Se empleó el método propuesto por Aksoy y Sahin (1998) donde las muestras se separan en hojas lavadas (L) y sin lavar (N) para después obtener su peso fresco mediante el uso de la balanza analítica, se recuperó el polvo atmosférico (P) del lavado de las hojas por medio de un filtrado con filtro wathman No 40. Todas las muestras se colocaron en un secador de elaboración casera a 80 °C durante 24 h, para obtener el peso seco de cada una y se pulverizaron con el uso de un mortero y pistilo. (Figura 7).

Se pesaron de 1 a 2 g de cada muestra en vasos de precipitado por duplicado y se procedió a la digestión ácida de las muestras de la siguiente manera:

A cada muestra se le adicionaron 10 mL de HCL y 0.5 mL de HNO₃, las cuales se colocaron en una parrilla (Corning model pc- 200) durante 15 minutos, para realizar la digestión a una temperatura aproximada de 90 °C a 100 °C. Se aforaron a 100 mL con agua tridestilada. Se colocaron en envases de polietileno y se refrigeraron hasta su análisis en el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer AAnalyst 700).

A los filtros donde se recuperaron las partículas se les realizó el mismo procedimiento para las hojas.

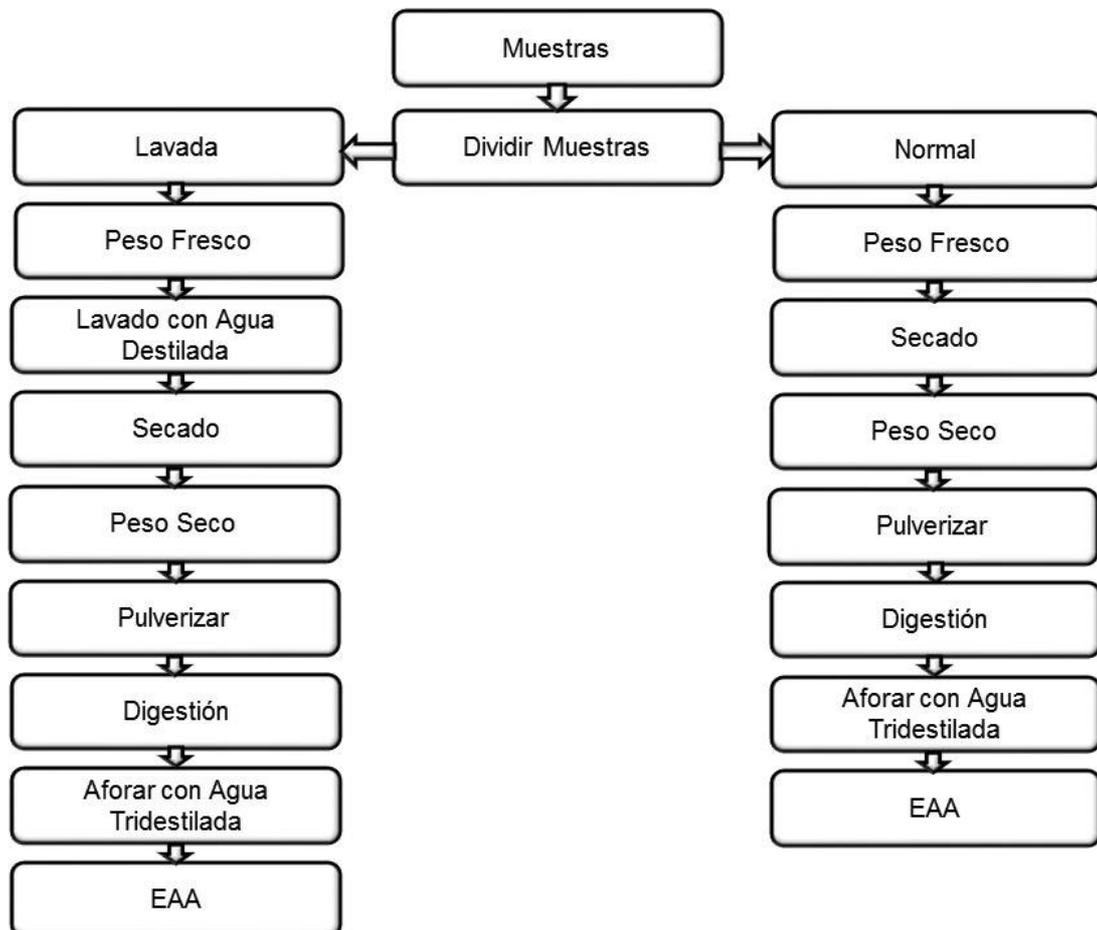


Figura 8. Diagrama de Flujo del trabajo en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

5.7 Análisis estadístico.

- Se realizó un análisis descriptivo de los resultados obtenidos utilizando el software STATISTICA 7(Statsoft,1984-2004), en el cual se tomaron en cuenta todos los parámetros de tendencia central, dispersión, forma y posición, así como un análisis por histogramas para conocer su distribución.

- Para conocer la distribución de los metales pesados en la ciudad de Durango, se utilizaron las técnicas de interpolación de Krigging, mediante el software Idrisi Kilimanjaro (Clark Labs, 1987-2003).
- Con los datos obtenidos, se realizó una correlación de Spearman con una significancia de 0.05 entre las concentraciones cada muestreo para conocer qué tan relacionadas están entre sí.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 Concentración de metales pesados en hojas de *L. lucidum*.

En los siguientes apartados se muestran las concentraciones para cada uno de los metales pesados estudiados, un análisis de interpolación utilizando el método de Kriging para mostrar su distribución en la ciudad de Durango y las concentraciones obtenidas tanto en las hojas lavadas y sin lavar de *L. lucidum*, así como en las partículas recuperadas del lavado y un análisis estadístico que indique cuáles son los datos de tendencia central, de dispersión y de forma.

6.1.1 Cu.

En el Cuadro 7 se muestran las concentraciones de Cu para las hojas y las partículas recuperadas del lavado de las hojas.

Cuadro 7. Concentraciones de Cu en las partículas recuperadas, hojas lavadas y sin lavar de *L. lucidum* en la ciudad de Durango.

SITIO	L1	N1	P1	L 2	N2	P2	L3	N3	P3
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
FRAC. BOSQUES DEL VALLE	9.05	10.35	2.6	0.8	3.4	0.9	12	25	1.6
FRAC. LA NORIA	3.7	6	1.4	0.35	1.3	0.3	16	47	1.2
COL. EMILIANO ZAPATA	4.25	6.1	1.4	0.45	3.7	3.6	11	188	2.7
COL. J.G. RODRIGUEZ . BENITO JUAREZ	3.3	7.55	2.8	0.65	4.35	0.35	7.1	9.4	3.8
COL. SAN CARLOS. SANJOSE	2.9	11.25	2.1	1.15	2.95	0.5	0	7.5	0.2
FRACC. BENITO JUAREZ. JUAN ESCUTIA	3.35	3.35	0.6	1.25	3.15	0.8	1	8.9	0.5
FRAC. VALLE DEL GUADIANA. FREDY FERNANDEZ	2.05	2.65	0.4	2.605	4.85	0.8	1.3	7.8	0.8
FRAC. EL EDEN. CUITLAHUAC	5.85	8.59	1.4	1.05	4.05	0.2	1.3	8.1	0.3
COL VALLE VERDE. FLOR DE TULIPANES	1.55	3.25	0.2	2.95	7.05	1.9	3.7	7.8	0.9
COL. JUAN LIRA. PATRIA LIBRE	2.2	4.9	0.8	2	4.9	0.6	1.2	6.6	0.8
COL. SECTOR LOS ALAMOS. GAYTAN	5.15	7.7	0.4	3.2	4.4	0.2	11	19	0.6
COL. ARCOIRIS. PUERTA DEL SOL	4.35	10.2	0.8	1.7	2.45	0.2	1.4	7.1	1.8
AV. LASALLE	12.1	14.1	2.2	2.1	4.5	1.7	0	9.5	0.7
COL. VALLE DEL SUR . RIO SAN DIEGO	7.5	12.015	1.8	2.8	3.15	0.3	3.2	9.4	0.5
COL. LOMAS DEL PARQUE CP. NAVA COY/	22.8	23	1	1.8	2.65	0.9	0	9.7	0
PUENTE NEGRO. PTO. VERACRUZ	8.8	15.6	1.6	4.8	7.2	2.2	1.2	8.6	0.5
COL. FELIPE ANGELES. DOROTEO ARANGC	17.1	18.3	1.5	2.3	3.45	0.6	4	10	0.3
COL. HECTOR MAYAGOTIA. CATALINO HERRERA	112	251.5	2.7	2.05	4.05	2.4	2.2	8.2	1.3
AMPLIACION PRI. BUGAMBILIA	10.7	23.9	1.3	2	9.75	1.3	2.2	9.3	1.1
FRAC. LAS PLAYAS. PLAYA ESCONDIDA	5.2	6.15	0.7	1.15	5.35	0.7	0.2	8.1	0.6
COL. TIERRA BLANCA. PRIV ARMANDO HERRERA	5	5.85	0.9	0.9	2.15	0.3	1.4	7.3	0.2
ZONA CENTRO. JUAREZ ENTRE NEGRETE Y AQUILES SERDAN	5.5	13.5	0	2.55	6.5	0.7	3.3	10	0.4
ZONA CENTRO. BLAS CORRAL	4.05	6.65	0.4	3.65	4.4	0.5	2	7.9	0.2
COL. REAL DEL PRADO. PLAZA SAN PEDRO	6.85	7.2	0.9	1.6	2.9	0.2	2.1	9.6	0.5
FRAC. CERRO DEL MERCADO. CERRO DEL MERCADO	3.8	5.7	1	3.25	4.1	0.9	0.6	8	0.9
FRAC. SAN IGNACIO. CALLE SILVERIO PEREZ	13.2	59.9	1.7	7.1	10.35	1.2	4.2	8	1.1
FRACC. JARDINES DE DGO. AVENIDA DE LAS AZUCENAS	4.3	5.7	0.2	0.35	2.9	0.3	2.1	8.1	0.9
AV. CIMA	3.7	7.25	0.6	1.4	2.85	0.7	0.5	6.8	0.3
COL. JOSE ANGEL LEAL. SILVESTRE REVUELTAS	3.95	4.05	0.5	1.95	3.4	0.2	2.2	7	0.2
FRACC SAN JUAN. CIRCUITO SAN JOSE	2.7	3.6	0.4	1.95	5.05	0.4	7.05	21.35	0.8

6.1.1.1 Análisis descriptivo.

Utilizando los datos de las concentraciones de las hojas y las partículas de Cu se realizó un análisis estadístico descriptivo para conocer su comportamiento. (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis descriptivo de las concentraciones de Cu..

Variable	Media	Mediana	Moda	Minimo	Maximo	Desv.est.	Curtosis	Asimetría
CuP1	1.14	0.95	0.40	0.00	2.80	0.78	-0.40	0.67
CuL1	9.90	4.68	3.70	1.55	112.00	19.86	26.32	5.01
CuN1	18.86	7.40	5.70	2.65	251.50	45.23	26.37	5.04
CuP2	0.86	0.65	0.20	0.20	3.60	0.79	4.05	1.93
CuL2	2.06	1.95	Multiple	0.35	7.10	1.41	4.68	1.75
CuN2	4.38	4.05	Multiple	1.30	10.35	2.05	2.39	1.49
CuP3	0.86	0.65	Multiple	0.00	3.80	0.79	6.28	2.27
CuL3	3.52	2.10	Multiple	0.00	16.00	4.06	2.42	1.74
CuN3	16.97	8.40	8.10	6.60	188.00	33.28	26.28	5.02

6.1.1.2 Interpolación de *Kriging* para concentraciones de Cu en la hojas de *L. lucidum* en la ciudad de Durango.

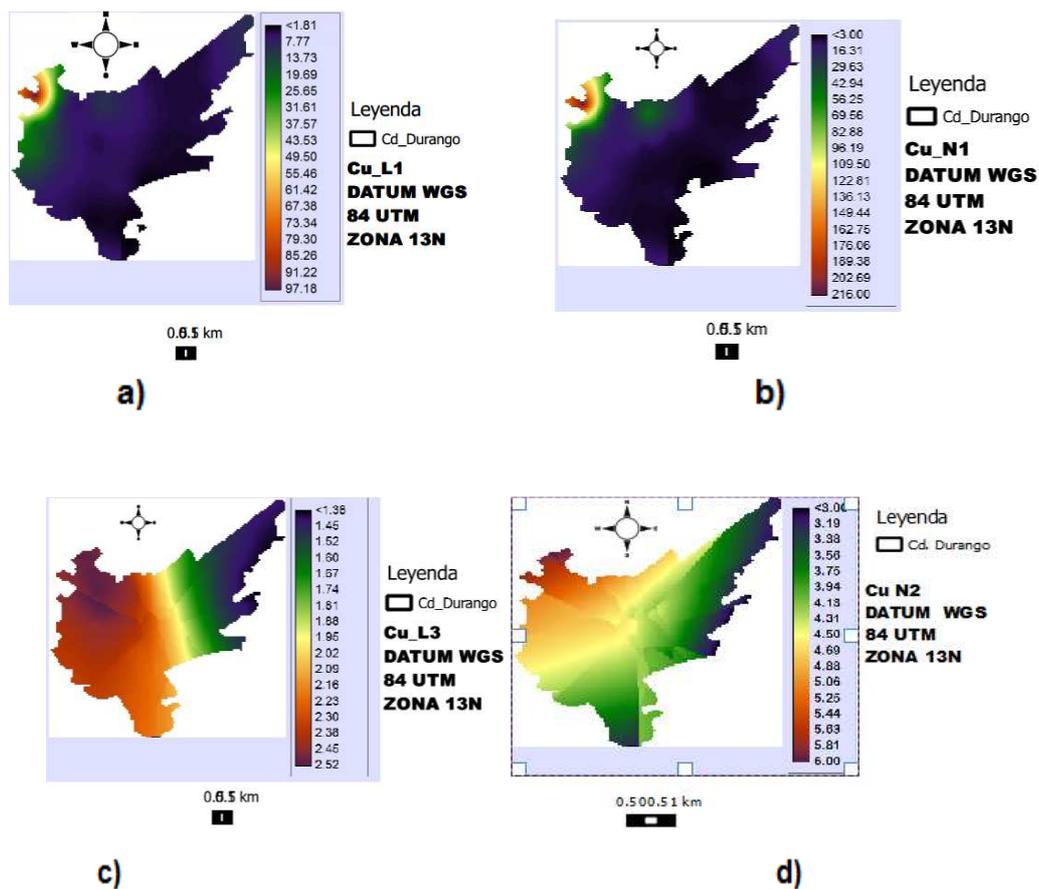




Figura 9. Mapas de distribución de concentraciones de Cu en las hojas de *L. lucidum*.

Fuente: Elaboración propia utilizando Idrisi Kilimanjaro.

6.1.1.3. Interpolación de *Kriging* para concentraciones de Cu en las partículas recuperadas del lavado de las hojas de *L. lucidum* en la ciudad de Durango.

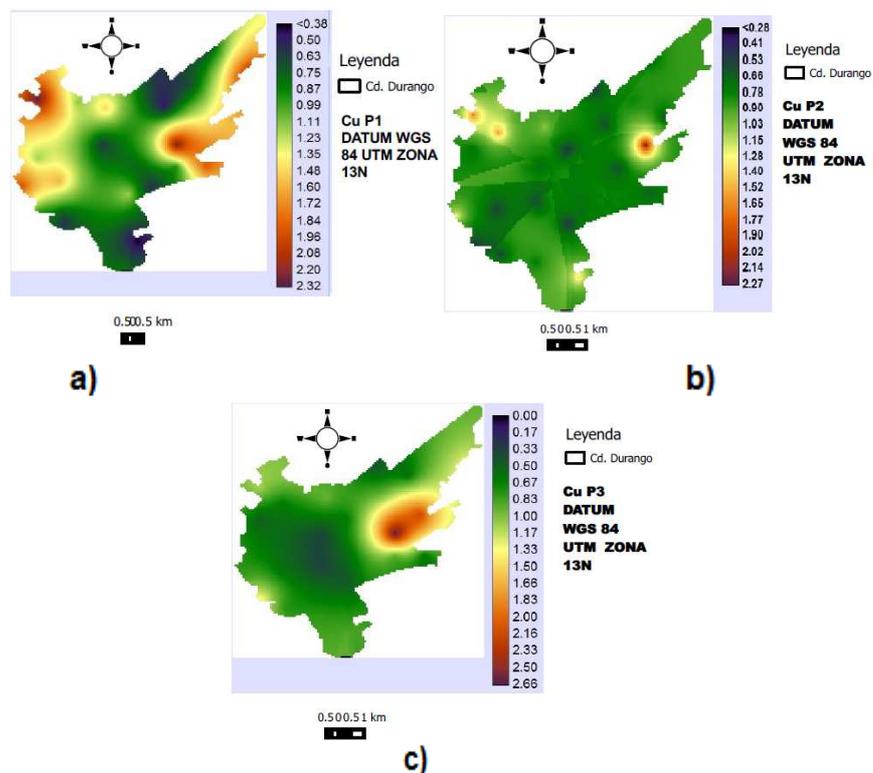


Figura 10. Mapas de distribución de concentraciones de partículas de Cu.

Fuente: Elaboración propia utilizando Idrisi Kilimanjaro.

En los mapas para las hojas lavadas (L) (a, c, e) se observó que el muestreo con mayor concentración de cobre, se presentó en las muestras de agosto a noviembre; mientras que para las hojas sin lavar (N), dos de los muestreos están por encima de la media. En el primer muestreo existe gran similitud entre los mapas a y b, ya que las concentraciones más elevadas se observaron hacia el noroeste de la ciudad, lo que podría deberse a que esta zona está cerca de una industria minera. Además, los vientos influyeron en el arrastre de suelo, pues predominaron con una dirección suroeste (Anexo 1). Los muestreos L1-N1-P1, L2-N2-P2, L3-N3-P3 presentan una prueba de R^2 mayor a 0.70 y una prueba de kappa mayor a 0.50 para una p de 0.05, por lo que podemos decir que L y N de cada muestreo no presentan una diferencia significativa entre sí.

En los mapas para partículas (P) existe la zona de la ciudad que muestra mayor concentración es la zona E donde existen muchas zonas con suelo desnudo.

Para el segundo muestreo, se encontró una mínima concentración de cobre, tanto para L y N, probablemente a que en los meses de noviembre, diciembre 2013 y enero de 2014, hubo precipitaciones esporádicas (Anexo 1), las cuales ocasionaron pérdida de material foliar, que permitió el desarrollo de material foliar nuevo. Así mismo, hubo lavado de hojas, por lo que se perdió el polvo que ya se había retenido.

En el tercer muestreo, se observó la menor concentración para L de los tres muestreos y se manifestó en el punto de la Av. Lasalle, la cual se encuentra al suroeste de la ciudad, en donde el flujo vehicular no es alto y las calles están pavimentadas. Para N en este mismo muestreo, la concentración de cobre se encontró por encima de la media en un punto al oriente de la ciudad, en el cual las calles no están pavimentadas y el flujo vehicular es alto, ya que ahí circula una ruta de transporte urbano.

Estos resultados comparados con los de Amberger, (1979), quien menciona que el contenido normal de cobre en las hojas de las plantas es de 4 - 20 ppm, muestran que en todas las hojas lavadas, el nivel de cobre se encuentra en niveles normales, a

excepción de las plantas muestreadas en la colonia Hector Mayagoitia, en donde se exceden dichas concentraciones durante los meses de agosto a noviembre

El análisis de las hojas que no fueron lavadas, mostraron para algunos lugares, que las concentraciones de cobre estuvieron por encima del contenido normal, como es el caso de la colonia Emiliano Zapata, en donde el arbusto muestreado se localiza en una zona sin pavimentar con alto flujo vehicular; así como en la colonia Hector Mayagoitia, que se encuentra cercana a la industria minera del Cerro del Mercado.

6.1.2. Fe

En el Cuadro 9 se muestran las concentraciones de Fe para las hojas y las partículas recuperadas del lavado de las hojas.

Cuadro 9. Concentraciones de Fe en las partículas recuperadas, hojas lavadas y sin lavar de *L. lucidum* en la ciudad de Durango.

SITO	L1	N1	P1	L 2	N2	P2	L3	N3	P3
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
FRAC. BOSQUES DEL VALLE	40.05	138.19	70.9	89.74	103.1	78.07	95.68	148	65
FRAC. LA NORIA	29.05	56.54	88.5	59.72	85.17	84.8	72.15	117	57.3
COL. EMILIANO ZAPATA	50.085	65.88	20.8	77.33	200.9	72.74	68.88	464	97.9
COL. J.G. RODRIGUEZ. BENITO JUAREZ	54.685	79.09	70.9	21.47	69.87	24.64	30.73	58.2	87
COL. SAN CARLOS. SANJOSE	92.085	166.55	66.3	67.36	139.1	98.39	80.61	84.9	86
FRACC. BENITO JUAREZ. JUAN ESCUTIA	75.44	83.62	15.3	53.76	148.1	61.7	52.31	68.2	45.9
FRAC. VALLE DEL GUADIANA. FREDY FERNANDEZ	60.415	67.09	49	49.31	72.1	77.98	43.19	49.3	6.7
FRAC. EL EDEN. CUTLAHUAC	88.495	122.745	34.7	62	70.87	13.72	56.51	57.3	17.3
COL. VALLE VERDE. FLOR DE TULIPANES	33.47	63.46	71	61.11	116.2	51.64	39.05	83.6	33.9
COL. JUAN LIRA. PATRIA LIBRE	73.345	78.91	80.9	64.84	133.4	61.01	57.81	219	70.3
COL. SECTOR LOS ALAMOS. GAYTAN	43.885	48.84	36	35.43	46.1	30	88.35	369	33.7
COL. ARCOIRIS. PUERTA DEL SOL	70.175	120.7	52.4	45.12	54.25	20.41	47.37	70.1	68.3
AV. LASALLE	88.31	99.53	15.7	49.5	98.62	12	65.77	82.1	22.5
COL. VALLE DEL SUR. RIO SAN DIEGO	83.85	194.98	44.9	57.27	77.11	35.97	122.6	191	33
COL. LOMAS DEL PARQUE CP. NAVACOY/	62.985	67.035	9.5	23.62	39.38	6.47	30.18	51.4	9.7
FUENTE NEGRO. PTO. VERACRUZ	69.955	110.315	24.9	153.1	156.8	69.35	59.04	84.4	37
COL. FELIPE ANGELES. DOROTEO ARANGC	52.86	249.95	11.1	29.5	49.43	5.56	43.41	86.5	13.7
COL. HECTOR MAYAGOITIA. CATALINO HERRERA	141.9	236.15	93.6	26.98	39.15	11.46	55.76	71.8	44.2
AMPLIACION PRI. BUGAMBILIA	45.34	107.715	13.4	27.65	60.82	22.5	62.71	84.3	32.9
FRAC. LAS PLAYAS. PLAYA ESCONDIDA	73.205	121.85	10	20.9	36.44	8.33	33.13	40.2	14.2
COL. TIERRA BLANCA. PRIV ARMANDO HERRERA	56.765	59.975	6.9	37.5	44.39	6.22	33.45	49.3	6.4
ZONA CENTRO. JUAREZ ENTRE NEGRETE Y AQUILES SERDAN	57.4	113.215	9.2	107	150.2	45.44	110.9	159	38
ZONA CENTRO. BLAS CORRAL	71.72	85.56	33.1	42.14	44.13	25	42.8	69	30.4
COL. REAL DEL PRADO. PLAZA SAN PEDRO	63.645	98.07	6.9	22.22	55.61	4.06	42.07	73	8
FRAC. CERRO DEL MERCADO. CERRO DEL MERCADO	49.345	54.975	66.8	54.09	97.27	40.48	57.42	70.7	35.2
FRAC. SAN IGNACIO. CALLE SILVERIO PEREZ	41.75	55.94	33.3	36.67	59.13	33.33	68.4	70.2	48.7
FRACC. JARDINES DE DGO. AVENIDA DE LAS AZUCENAS	77.125	99.48	32.4	56.39	76.11	35	45.28	70.6	53.7
AV. CIMA	71.7	90.18	17.7	42.61	60.31	13.23	73.65	55.4	6.2
COL. JOSE ANGEL LEAL. SILVESTRE REVUELTAS	92.595	135.05	63.4	84.25	153.2	57.13	73.16	145	58.1
FRACC. SAN JUAN. CIRCUITO SAN JOSE	77.7	89.4	59.9	43.73	120.9	52.4	31.38	109	20.3

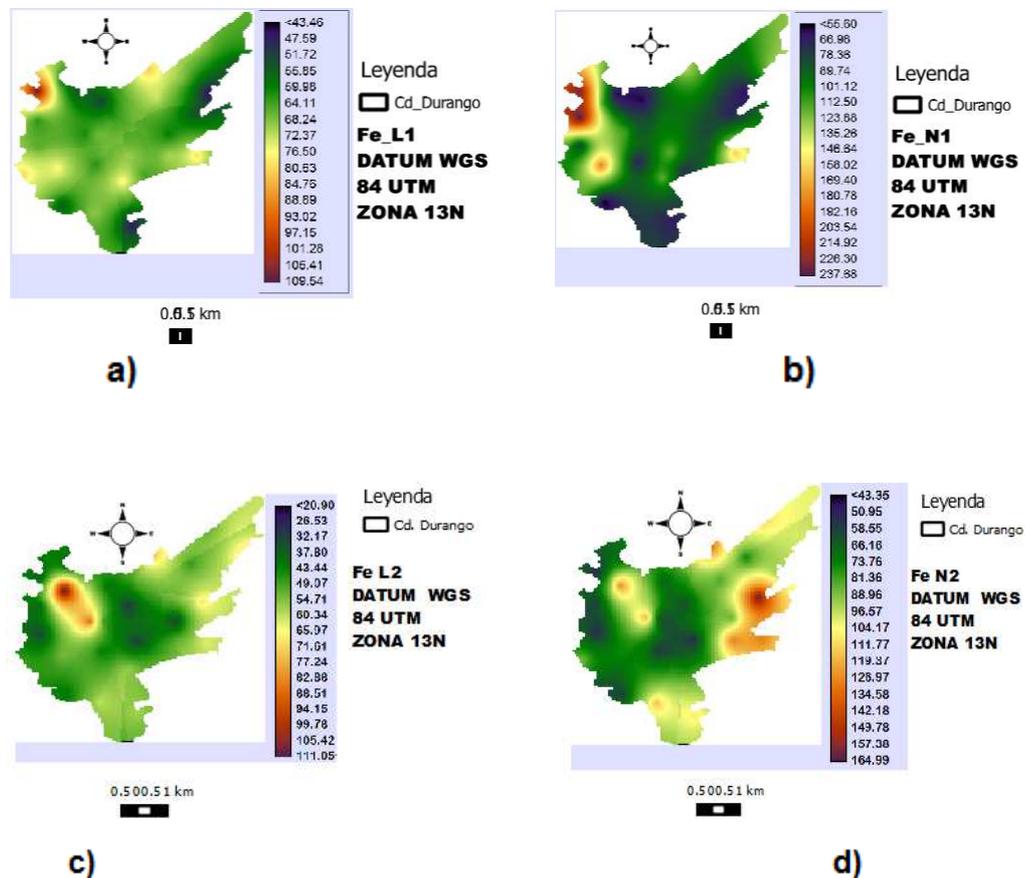
6.1.2.1 Análisis descriptivo.

Utilizando los datos de las concentraciones de las hojas y las partículas de Fe se realizó un análisis estadístico descriptivo para conocer su comportamiento. (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis descriptivo de las concentraciones de Fe.

Variable	Media	Mediana	Moda	Minimo	Maximo	Desv.est.	Curtosis	Asimetría
FeP1	40.31	34.00	Multiple	6.90	93.60	27.15	0.39	-1.16
FeL1	66.31	66.80	Multiple	29.05	141.90	22.48	1.12	3.10
FeN1	105.37	94.13	Multiple	48.84	249.95	50.64	1.52	2.17
FeP2	38.63	34.17	Multiple	4.06	98.39	27.42	0.50	-0.87
FeL2	53.41	49.41	Multiple	20.90	153.10	28.37	1.70	4.22
F2N2	88.61	74.11	Multiple	36.44	200.90	44.07	0.81	-0.25
FeP3	39.38	34.55	Multiple	6.20	97.90	25.69	0.60	-0.37
FeL3	59.46	56.97	Multiple	30.18	122.60	23.33	0.99	0.84
FeN3	111.72	77.55	49.30	40.20	464.00	94.05	2.68	7.56

6.1.2.2. Interpolación de Kriging de concentraciones de Fe en las hojas de *L. lucidum* en la ciudad de Durango



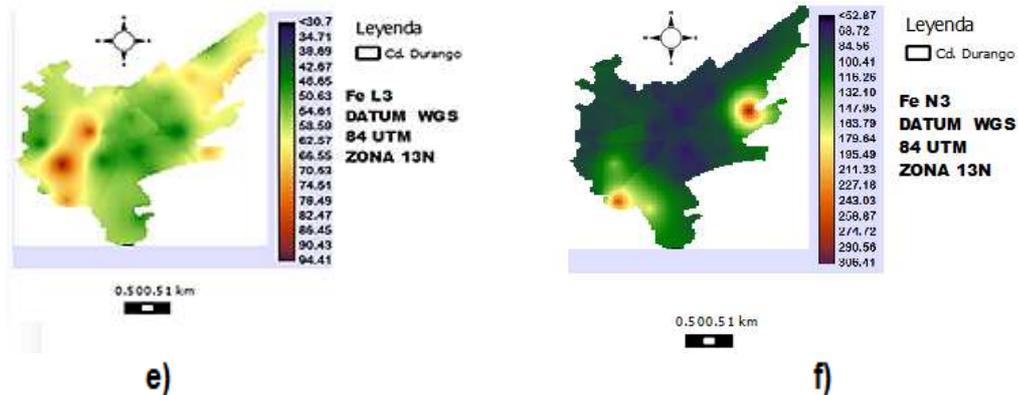


Figura 11. Mapas de distribución de concentraciones de Fe en las hojas de *L. lucidum*

Fuente: Elaboración propia utilizando Idrisi Kilimanjaro.

6.1.2.3. Interpolación de *Kriging* de concentraciones de Fe en las partículas recuperadas del lavado de hojas de *L. lucidum* en la ciudad de Durango

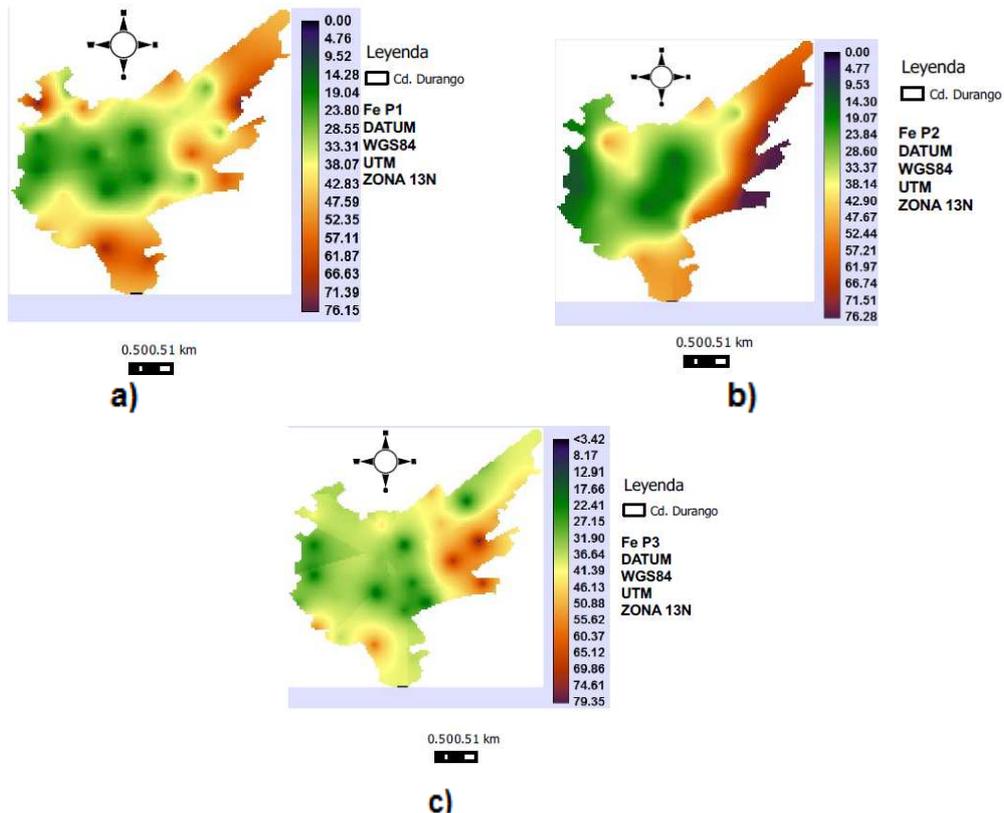


Figura 12. Mapas de distribución de concentraciones de partículas de Fe

Fuente: Elaboración propia utilizando Idrisi Kilimanjaro.

Los muestreo en los que se determinó la presencia de fierro en las hojas lavadas (L) y sin lavar (N) muestran una moda múltiple para los mapas a,b,c.d y e; mientras que el mapa f muestra una presencia bimodal en los sitios de Valle del Guadiana y Barrio Tierra Blanca. Los lugares en donde se encuentran las especies de muestreo cuentan con pavimentación y bajo flujo vehicular. Todos los muestreos presentan una distribución normal con una curva mesocurtica, ya que los datos de curtosis son cercanos a 0 , los muestreos de las hojas presentan una asimetría positiva, pues los valores en su mayoría se distribuyen a la derecha de la media mientras que los muestreos para partículas presentan una asimetría negativa. Los muestreo L1-N1-P1, L2-N2-P3, L3-N3-P3 presentan una prueba de R^2 mayor a 0.80 y una prueba de kappa mayor a 0.30 para una p de 0.05; por lo que se puede inferir que L y N de cada muestreo no presentan diferencias significativas entre si

Los mapas para hojas lavadas a, c y partículas a presentan mayor concentración de fierro hacia el oeste de la ciudad en el primer muestreo en la colonia Héctor Mayagoitia y para el segundo muestreo, en la colonia Puente Negro. Ambos lugares cuentan con altos flujos vehiculares a su alrededor. Mientras que en el tercer muestreo, la mayor concentración del metal se presentó hacia el suroeste de la ciudad, en las colonias Sector Los Álamos, la cual el punto de muestreo se encuentra cerca de terrenos baldíos y calles sin pavimentar; en la Valle del Sur, en donde el sitio de muestreo se tomó cerca de unos campos deportivos, por lo que el flujo vehicular es alto y por último, en la zona Centro en las calles de Juárez y Zaragoza, en donde el flujo vehicular es altísimo, pues circulan varias rutas del transporte urbano.

Con base en un estudio realizado por Takao y Bruno (1990), en donde las concentraciones de fierro para hojas lavadas recolectadas en una carretera fueron de 56 ppm y de 116 para hojas sin lavar; se puede deducir que las concentraciones de fierro para la ciudad de Durango son elevadas, lo cual puede deberse a diversos factores como el alto índice vehicular y calles sin pavimentar, entre otros

6.1.3 Zn.

En el Cuadro 11 se muestran las concentraciones de Zn para las hojas y las partículas recuperadas del lavado de las hojas.

Cuadro 11. Concentraciones de Zn en las partículas recuperadas, hojas lavadas y sin lavar de *L. lucidum* en la ciudad de Durango.

SITIO	L1	N1	P1	L 2	N2	P2	L3	N3	P3
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
FRAC. BOSQUES DEL VALLE	7.3	9.6	7.4	22.63	23.45	7.4	18.17	22.07	22.9
FRAC. LA NORIA	5.9	4.4	1.9	22.15	28.32	3.8	27.06	34.22	9.7
COL. EMILIANO ZAPATA	43.3	50.2	7.1	31.88	38.12	19.9	22.75	33.86	6.2
COL. J.G. RODRIGUEZ . BENITO JUAREZ	30.1	43.8	9.8	14.45	34.1	6.4	25.13	28.66	11.7
COL. SAN CARLOS. SANJOSE	15.6	22	7.3	16.94	22.93	1.8	15.74	16.87	6
FRACC. BENITO JUAREZ. JUAN ESCUTIA	15.7	26.1	12.6	8.71	14.61	3.7	9.52	14.01	5.3
FRAC. VALLE DEL GUADIANA. FREDY FERNANDEZ	16.7	22.7	9.3	7.22	11.01	7.7	12.11	15.15	5.7
FRAC. EL EDEN. CUITLAHUAC	35.2	45.5	3.8	10.98	15.27	14.8	19.25	19.96	12.4
COL. VALLE VERDE. FLOR DE TULIPANES	15.2	17.3	9.4	29.6	31.65	22.7	25.56	26.15	1.4
COL. JUAN LIRA. PATRIA LIBRE	14.9	23.6	6.2	5.98	9.06	3.8	10.8	11.74	6.9
COL. SECTOR LOS ALAMOS. GAYTAN	15.1	28.4	4.1	7.74	9.91	3.2	12.28	15.15	7.2
COL. ARCOIRIS. PUERTA DEL SOL	16	22	6.4	5.72	9.49	8.8	45.98	46.25	11.8
AV. LASALLE	21.9	23.2	45.2	10.34	11.61	5.7	13.04	18.27	6.6
COL. VALLE DEL SUR . RIO SAN DIEGO	14.1	22	7.1	6.29	8.35	0	18.9	19.6	1.5
COL. LOMAS DEL PARQUE CP. NAVA COY/	17	21.4	8.5	10.61	11.06	0	17.59	18.19	1
PUENTE NEGRO. PTO. VERACRUZ	27.7	31	13.3	26.56	29.43	2	32.03	35.26	23
COL. FELIPE ANGELES. DOROTEO ARANGC	29	44.6	3	27.98	34.04	2.2	36.99	38.94	5.7
COL. HECTOR MAYAGOTIA. CATALINO HERRERA	20.5	39.6	7.7	36.06	38.73	7	39.54	40.57	2.3
AMPLIACION FRI. BUGAMBILIA	14.8	30.3	13.6	26.53	29.48	1	32.14	32.84	51.1
FRAC. LAS PLAYAS. PLAYA ESCONDIDA	21.1	29.5	8.3	39	44.52	2.9	33.49	34.43	8.9
COL. TIERRA BLANCA. PRIV ARMANDO HERRERA	21.5	26.3	0.4	16.92	25.72	0.9	23.34	24.51	0.5
ZONA CENTRO. JUAREZ ENTRE NEGRETE Y AQUILES SERDAN	16.3	25.7	5	9.64	11.32	4.4	16.92	20.98	10
ZONA CENTRO. BLAS CORRAL	21.9	28.8	4.2	15.3	20.52	8.2	14.51	15.09	4.02
COL. REAL DEL PRADO. PLAZA SAN PEDRO	19.9	40.7	7.1	12.11	14.55	1.1	11.83	13.4	9.6
FRAC. CERRO DEL MERCADO. CERRO DEL MERCADO	15.4	19.9	12.6	17.75	21.24	9.5	14.14	19.94	3.3
FRAC. SAN IGNACIO. CALLE SILVERIO PEREZ	25.7	33	1.8	24.61	32.27	5.9	20.445	24.26	1.9
FRACC. JARDINES DE DGO. AVENIDA DE LAS AZUCENAS	13.7	26.1	2.4	7.43	13	2.3	16.025	17.27	8.3
AV. CIMA	18.9	24.5	0.6	15.44	19.52	0.5	17.625	19.34	0.2
COL. JOSE ANGEL LEAL. SILVESTRE REVUELTAS	16.3	21.4	1.4	10.55	13.65	0.3	11.935	13.81	0.5
FRACC SAN JUAN . CIRCUITO SAN JOSE	23.5	24.065	0.7	25.585	29.77	0.9	23.5	24.07	0.6

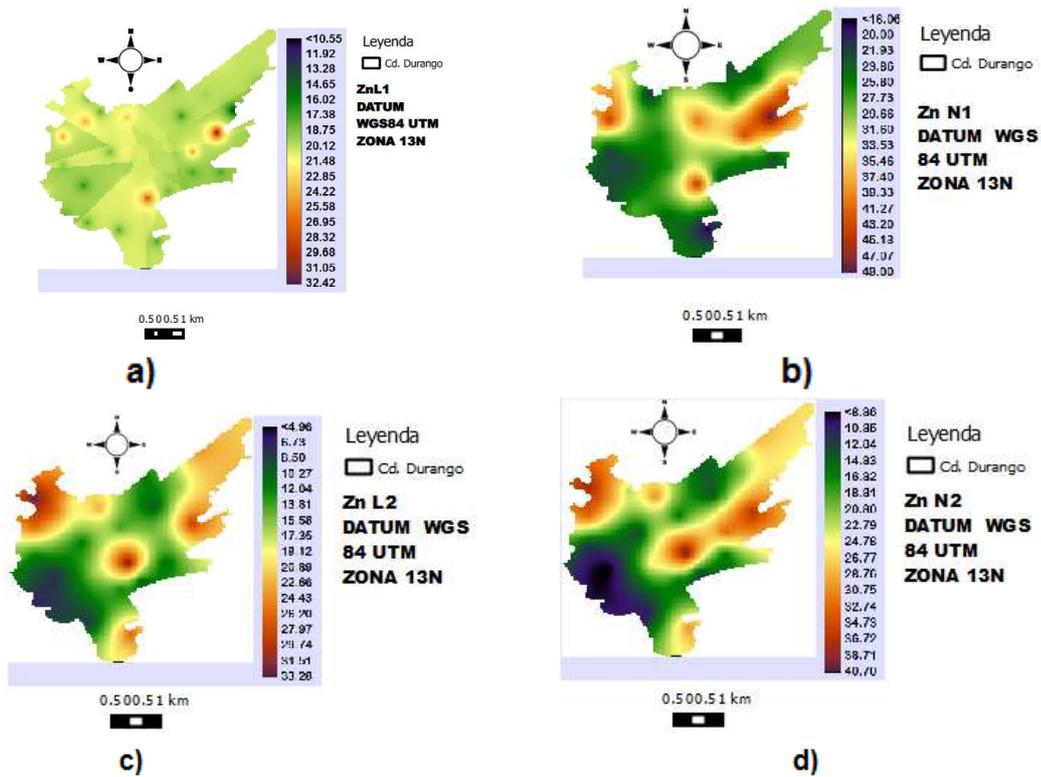
6.1.3.1 Análisis descriptivo.

Utilizando los datos de las concentraciones de las hojas y las partículas de Cu se realizó un análisis estadístico descriptivo para conocer su comportamiento. (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis descriptivo de las concentraciones de Zn.

Variable	Media	Mediana	Moda	Minimo	Maximo	Desv.est.	Curtosis	Asimetría
ZnP1	7.61	7.10	7.10	0.40	45.20	8.08	3.62	16.67
ZnL1	19.67	16.85	Multiple	5.90	43.30	7.72	1.13	2.16
ZnN1	27.59	25.90	22.00	4.40	50.20	10.24	0.33	0.46
ZnP2	5.29	3.75	Multiple	0.00	22.70	5.57	1.80	3.33
ZnL2	17.42	15.37	Multiple	5.72	39.00	9.60	0.63	-0.65
ZnN2	21.89	20.88	Multiple	8.35	44.52	10.50	0.40	-1.02
ZnP3	8.21	6.10	Multiple	0.20	51.10	9.93	3.09	11.94
ZnL3	21.28	18.54	Multiple	9.52	45.98	9.34	1.00	0.39
ZnN3	23.83	20.47	15.15	11.74	46.25	9.26	0.79	-0.34

6.1.3.2. Interpolación de *Kriging* de concentraciones de Zn en las hojas de *L. lucidum* en la ciudad de Durango



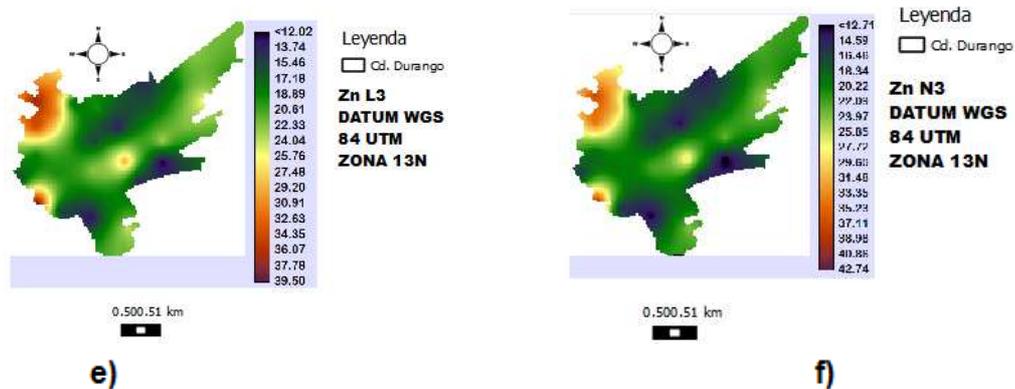


Figura 13. Mapas de distribución de concentraciones de Zn en las hojas de *L. lucidum*.

Fuente: Elaboración propia utilizando Idrisi Kilimanjaro.

6.1.3.3 Interpolación de *Kriging* de concentraciones de Zn en las partículas recuperadas del lavado de hojas de *L. lucidum* en la ciudad de Durango.

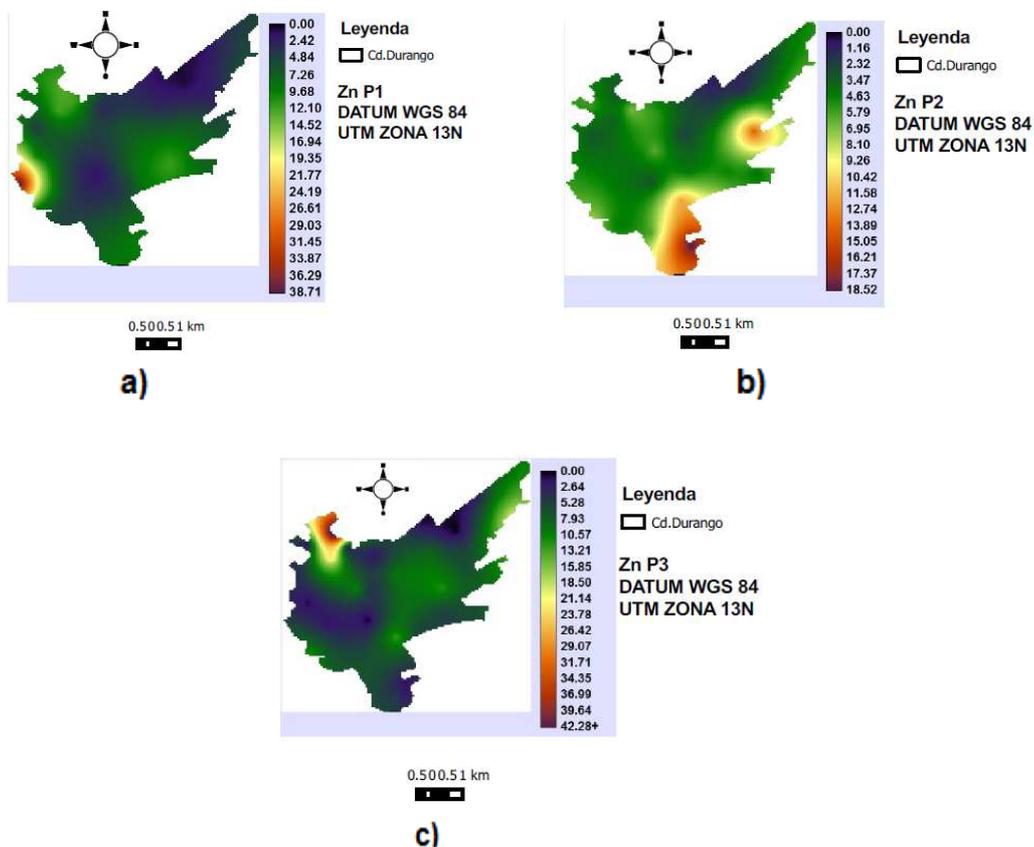


Figura 14. Mapas de distribución de concentraciones de partículas de Zn.

Fuente: Elaboración propia utilizando Idrisi Kilimanjaro.

Los muestreos tanto para N,L y P muestran una media y modas cercanas; mientras que para N1, N3, P1 los datos son simétricos dado que la media, mediana y moda son muy parecidas. Como la desviación estándar es pequeña para todos los muestreos de N y L, se puede decir que la mayoría de los datos se concentran alrededor de la media para todos los casos. Los datos en todos los muestreos presentan una distribución normal con una simetría positiva, ya que los valores se distribuyen en su mayoría a la derecha de la media, mientras que los muestreos N2-L2-N3, presentan un curva platicurtica con curtosis negativa. Tanto los muestreo L1-N1-P1, L2-N2-P2 y L3-N3-P3 presentan una prueba de R^2 mayor a 0.90 y una prueba de kappa mayor a 0.45 para una p de 0.05, por lo que se deduce que L y N de cada muestreo no presentan una diferencia significativa entre sí.

Los mapas para L (a, c, d) muestran que para el mapa a y c existe un mayor número de sitios con concentraciones parecidas, por lo cual la interpolación muestra más manchas en la ciudad. Se puede observar también que el muestreo L1 es el que presenta la mayor concentración de Zn hacia el oriente de la ciudad; mientras que para el muestreo L2 se presenta un mayor número de manchas, debido a que existe mayor número de vecindad entre las concentraciones. En el muestreo L3 se observa menor número de vecindades, en donde las mayores concentraciones se observaron hacia el sureste de la ciudad. Los muestreos para los mapas de N indican la mayor concentración de zinc para N1, mientras que el muestreo que presenta mayor vecindad, es N2 porque la mayoría de los puntos presentan valores muy similares. Los muestreos para partículas presentan tres zonas de concentraciones altas distintas.

Las tres etapas de muestreo para las hojas presentan zonas similares de concentraciones de zinc como la zona oriente, donde se fabrican ladrillos a partir de la combustión de llantas, de la cual se desprenden derivados del petróleo al ambiente, como el zinc; en la zona Centro, con alto flujo vial y en la zona suroeste, cercana a la industria minera.

Las concentraciones de zinc encontradas en esta investigación, podrían explicarse por la presencia de la industria minera, la quema de hidrocarburos para la fabricación de ladrillos y por el arrastre del suelo; pero no al alto flujo vehicular, pues ahora las gasolinas mexicanas no contienen plomo, como en años anteriores, en donde se reporta para 1998, una investigación importante para determinar las concentraciones de metales pesados absorbidas por plantas se realizó en Kayseri, Turquía, en donde las mayores concentraciones de zinc en las hojas de *Eleagnus angustifolia* L., fueron de 102 ppm para hojas lavadas y de 231 ppm para hojas sin lavar por la cercanía de una planta fundidora, pero cuando los datos se compararon con las hojas recolectadas en una carretera, las concentraciones de Zn fueron de 75.82 ppm para hojas sin lavar y de 35.25 ppm para hojas lavadas. Lo que se explica por el uso de gasolinas con plomo, (Aksoy y Sahin, 1998)

6.1.4 Mn.

En el Cuadro 13 se muestran las concentraciones de Mn para las hojas y las partículas recuperadas del lavado de las hojas

Cuadro 13. Concentraciones de Mn en las partículas, hojas lavadas y sin lavar de *L. lucidum* en la ciudad de Durango.

SITO	L1	N1	P1	L 2	N2	P2	L3	N3	P3
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
FRAC. BOSQUES DEL VALLE	78.9	97.45	13.15	80.8	92.4	21.25	90.25	94.7	16.83
FRAC. LA NORIA	34.75	61.9	12.72	32	42.8	5.58	42.6	46.2	51.93
COL. EMILIANO ZAPATA	26.3	41.5	29.3	33.35	36.5	35.43	42.25	64.35	41.03
COL. J.G. RODRIGUEZ . BENITO JUAREZ	102.3	154.15	61.97	73.9	91	73.91	61.35	92.7	69.5
COL. SAN CARLOS. SANJOSE	30	53.1	13.78	25	60.9	14.39	82.35	104.6	66.18
FRACC. BENITO JUAREZ. JUAN ESCUTIA	34.45	39.1	11.18	70.95	84.1	56.66	71.7	85.25	33.14
FRAC. VALLE DEL GUADIANA. FREDY FERNANDEZ	18.3	21.5	13.98	15.5	19.8	0	53.05	70.05	50
FRAC. EL EDEN. CUITLAHUAC	27.15	32.15	15.69	73.8	59.5	44.08	64.4	73.8	77.33
COL. VALLE VERDE. FLOR DE TULIPANES	40	43.4	14.57	47.45	56.8	10.43	57.85	81.3	33.98
COL. JUAN LIRA. PATRIA LIBRE	31.6	34.25	20	28.9	38.3	18.08	46.9	47.6	20.9
COL. SECTOR LOS ALAMOS. GAYTAN	45.8	58.1	24.44	92.9	109	21.81	84.15	111.4	10.58
COL. ARCOIRIS. PUERTA DEL SOL	48.35	53	7.86	59.45	65.5	17.49	70.9	76.15	8.75
AV. LASALLE	56.9	57.8	30.16	46.65	54	46.48	60.85	67.3	81.53
COL. VALLE DEL SUR . RIO SAN DIEGO	48.95	54.45	35.33	76.55	106	30.42	42.95	58.4	37.2
COL. LOMAS DEL PARQUE CP. NAVA COOY/	91.2	105.65	15.12	41.55	86.5	29.95	51	59	15.72
PUENTE NEGRO. PTO. VERACRUZ	18.75	39.3	37.04	20	31.6	40.74	71.9	73.85	85.19
COL. FELIPE ANGELES. DOROTEO A RANGC	34.5	45.55	33.02	42.05	51.3	19.4	36.55	51.05	14.52
COL. HECTOR MAYAGOITIA. CATALINO HERRERA	47.75	77.45	16.05	80.85	102	26.55	71.1	84.35	19.22
AMPLIACION PRI. BUGAMBILIA	33.4	43.45	58.63	23.65	32.9	63.11	31.85	35.25	16.69
FRAC. LAS PLAYAS. PLAYA ESCONDIDA	28.8	69.6	0	51.8	68.1	0	69.3	77.5	16.61
COL. TIERRA BLANCA. PRIV. ARMANDO HERRERA	56.05	56.75	43.94	53.2	64.1	26.1	66.05	69.25	24.65
ZONA CENTRO. JUAREZ. ENTRE NEGRETE Y AQUILES SERDAN	33.9	76.9	48.28	86.95	87.3	36.3	76.05	78.6	35.55
ZONA CENTRO. BLAS CORRAL	34.55	39.3	38.14	44.1	46.5	19.86	53	67.5	19.67
COL. REAL DEL PRADO. PLAZA SAN PEDRO	24	36.4	20.99	24.6	27.2	24.86	28.75	38.8	40.88
FRAC. CERRO DEL MERCADO. CERRO DEL MERCADO	21.9	23.1	16.21	23.05	38.5	30.49	30.2	46.5	49.61
FRAC. SAN IGNACIO. CALLE SILVERIO PEREZ	21.05	23.75	55.72	15	32.5	17.68	25.9	30.5	15.04
FRACC. JARDINES DE DGO. AVENIDA DE LAS AZUCENAS	71.75	78.85	7.92	82.85	98.5	11.46	97.2	84.3	21.96
AV. CIMA	32.05	43.45	0	21.4	26.2	11.12	43.9	48.1	10.73
COL. JOSE ANGEL LEAL. SILVESTRE REVUELTAS	36.35	35.85	19.02	44.45	56.9	33.2	49.75	82.65	36.14
FRACC. SAN JUAN . CIRCUITO SAN JOSE	89.3	110.7	18.24	60	75.2	1.8	63.45	92.65	39.13

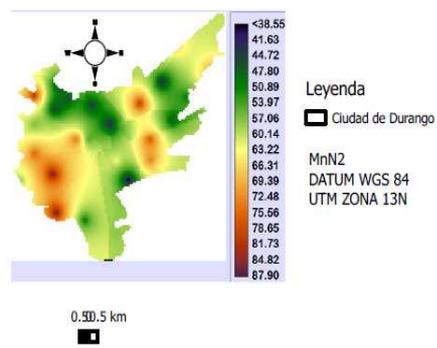
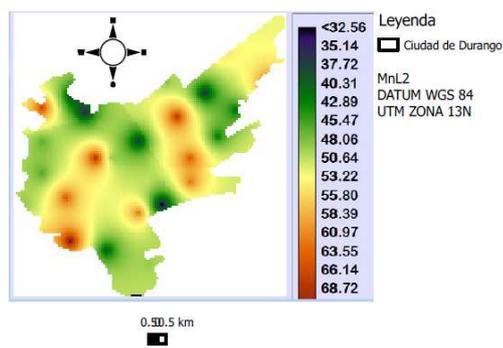
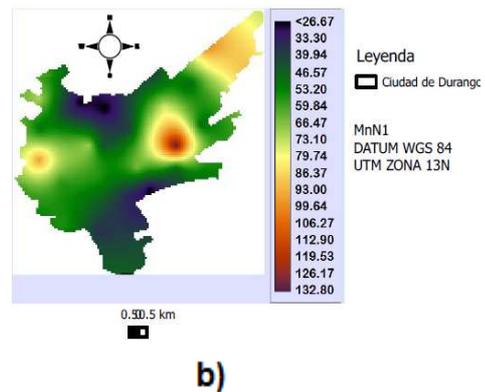
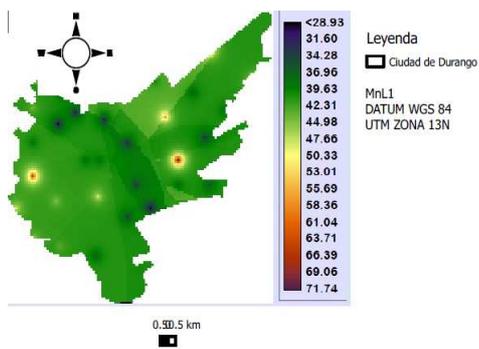
6.1.4.1 Análisis descriptivo

Utilizando los datos de las concentraciones de las hojas y las partículas de Mn se realizó un análisis estadístico descriptivo para conocer su comportamiento. (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis descriptivo de las concentraciones de Mn

Variable	Media	Mediana	Moda	Minimo	Maximo	Desv.est.	Curtosis	Asimetría
MnP1	24.42	18.63	0	0.00000	61.9700	16.61325	0.819291	-0.07589
MnL1	43.30	34.53	Multiple	18.30000	102.3000	22.51727	1.310189	0.92530
MnN1	56.93	49.28	Multiple	21.50000	154.1500	29.49636	1.571993	2.95026
MnP2	26.29	23.34	0	0.00000	73.9100	17.97300	0.828045	0.67381
MnL2	49.09	45.55	Multiple	15.00000	92.9000	24.02080	0.267811	-1.23971
MnN2	61.40	58.20	Multiple	19.80000	109.0000	26.46740	0.274748	-1.11426
MnP3	35.34	33.56	Multiple	8.75000	85.1900	22.35024	0.889512	-0.17634
MnL3	57.92	59.35	Multiple	25.90000	97.2000	18.73916	0.129126	-0.64346
MnN3	69.79	71.93	Multiple	30.50000	111.4000	20.49236	-0.082793	-0.55817

6.1.4.2 Interpolación de *Kriging* de concentraciones de Mn en las hojas de *L. lucidum* en la ciudad de Durango.



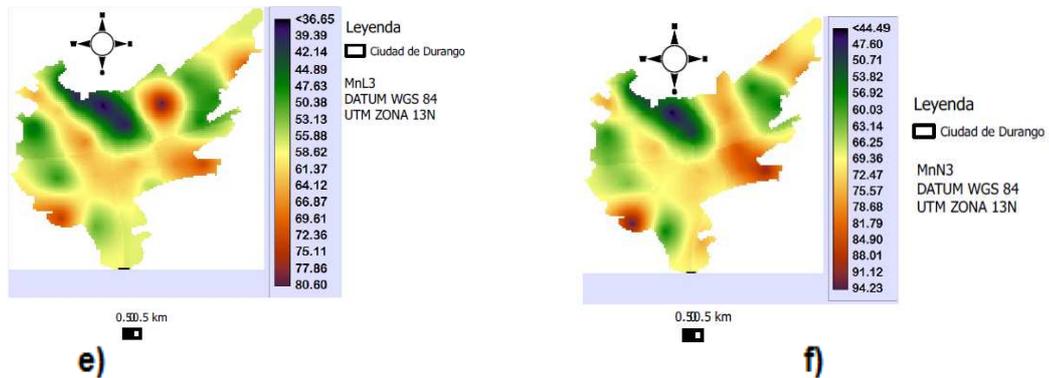


Figura 15. Mapas de distribución de concentraciones de Mn en las hojas de *L. lucidum*.

Fuente: Elaboración propia utilizando Idrisi Kilimanjaro.

6.1.4.3 Interpolación de *Kriging* de concentraciones de Mn en las partículas recuperadas del lavado de hojas de *L. lucidum* en la ciudad de Durango

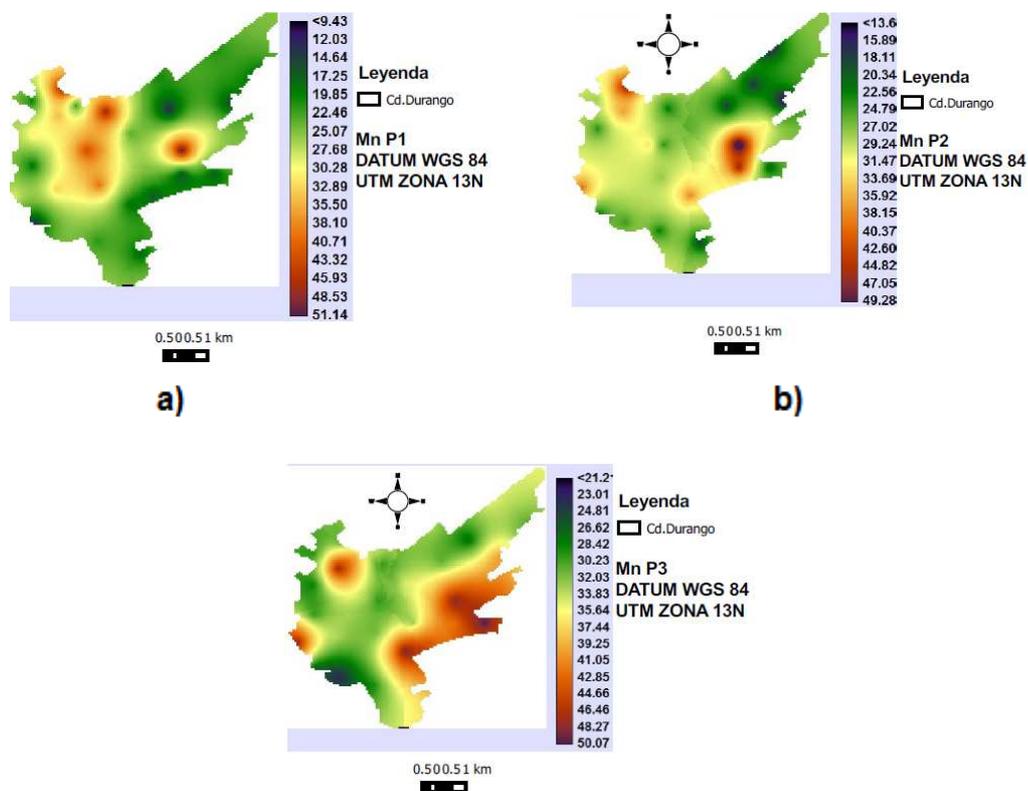


Figura 16. Mapas de distribución de concentraciones de partículas de Mn.

Fuente: Elaboración propia utilizando Idrisi Kilimanjaro.

Los datos analizados muestran medianas cercanas a la media con una moda múltiple para la mayoría de los muestreos, mientras que para los datos de P (a, b) presentan una moda de 0. En la mayoría de éstos, no se encontraron datos dispersos a excepción de N1, en donde las concentraciones de Mn, están por encima de la media en la colonia? J. Guadalupe Rodríguez, el cual se ubica en una zona cercana a dos vialidades con alto flujo vehicular. En general, la mayoría de los muestreos presenta una distribución normal con una asimetría negativa, excepto para L1-N1-P2, que tiene asimetría positiva; por lo cual la mayoría de sus datos se distribuyen a la derecha de la media.

La curva para los muestreos N1.L1,P2 tiene una forma mesocurtica, mientras que para los demás muestreos presenta una forma platicurtica por su curtosis negativa. Los muestreos L1-N1-P1, L2-N2-P2, L3-N3-P3 presentan una prueba de R^2 mayor a 0.95 y una prueba de kappa mayor a 0.80, para una p de 0.05; por lo que se puede decir que L y N de cada muestreo no presentan una diferencia significativa entre sí.

En el mapa a para L1, se puede observar que la mayor concentración de manganeso se encuentra en tres sitios muy puntuales: Jardines de Durango, J. Guadalupe Rodríguez y Lomas del Parque. Estas zonas tienen en común que los sitios de muestreo se encuentran cerca o en avenidas principales, por las cuales existe un alto flujo vehicular, que según Alatzne (1995), el manganeso es utilizado como aditivo en gasolinas para mejorar el octanaje y es liberado al ambiente por el tubo de escape de los automóviles. El mapa c para L2 muestra un mayor número de manchas debido a que existe un mayor número de vecindad entre sitios por lo cual se puede observar que, las concentraciones más altas del metal, se encuentran al O y SE de la ciudad, L3 como se aprecia en el mapa muestra dos altas concentraciones al NE y SO de la ciudad. Los mapas b,d y e para hojas no lavadas muestran la misma distribución que los mapas para hojas lavadas, pero con mayores concentraciones de Mn.

Para Kabata y Pendías (1992) valores de 400 - 1000 ppm encontrados en plantas, pueden considerarse tóxicos; mientras que para Ward y Savage (1994) son

menores, pues ellos realizaron un estudio en lechugas cultivadas en una zona sin contaminar y en una cercana a una autopista y los valores de manganeso encontrados fueron de 75 y 147 ppm respectivamente. Comparando estos resultados con los valores encontrados en este trabajo, para la ciudad de Durango se encontraron valores que están dentro de los rangos normales, puesto que el manganeso es un elemento esencial para las plantas, pero cuando sus concentraciones se elevan puede llegar a ser toxico.

6.1.5. Pb.

En el Cuadro 15 se muestran las concentraciones de Pb para las hojas y las partículas recuperadas del lavado de las hojas.

Cuadro 15. Concentraciones de Pb en las partículas, hojas lavadas y sin lavar de *L. lucidum* en la ciudad de Durango.

SITIO	L1	N1	P1	L 2	N2	P2	L3	N3	P3
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
FRAC. BOSQUES DEL VALLE	2.40	3.80	0.80	6.90	10.30	1.50	3.23	7.99	1.30
FRAC. LA NORIA	4.90	5.50	1.30	4.90	6.30	1.80	3.33	6.70	1.60
COL. EMILIANO ZAPATA	3.30	4.90	0.93	7.42	8.01	4.25	12.98	18.50	9.45
COL. J.G. RODRIGUEZ . BENITO JUAREZ	4.17	13.40	1.70	0.00	9.90	1.30	16.30	44.30	5.40
COL. SAN CARLOS. SANJOSE	10.20	14.04	2.30	10.55	11.36	2.50	16.32	18.30	3.20
FRACC. BENITO JUAREZ. JUAN ESCUTIA	3.53	11.44	1.25	3.05	12.19	2.60	4.20	15.62	2.10
FRAC. VALLE DEL GUADIANA. FREDY FERNANDEZ	3.03	13.14	1.10	6.93	8.51	0.72	2.00	2.53	0.33
FRAC. EL EDEN. CUITLAHUAC	4.58	11.18	1.70	2.37	13.37	0.52	2.33	13.72	0.45
COL. VALLE VERDE. FLOR DE TULIPANES	5.12	20.47	2.30	1.92	4.90	0.98	2.93	4.63	1.80
COL. JUAN LIRA. PATRIA LIBRE	4.91	6.25	2.10	2.63	7.55	0.57	3.62	4.18	1.24
COL. SECTOR LOS ALAMOS. GAYTAN	2.86	6.11	0.75	3.19	8.20	1.33	1.54	3.16	0.45
COL. ARCOIRIS. PUERTA DEL SOL	8.92	14.45	3.40	4.36	7.32	0.85	3.24	7.06	0.75
AV. LA SALLE	6.62	13.53	2.80	2.68	6.00	0.63	0.00	5.70	0.19
COL. VALLE DEL SUR . RIO SAN DIEGO	1.80	8.53	0.25	3.80	10.82	1.48	3.80	5.50	1.65
COL. LOMAS DEL PARQUE CP. NAVACOY/	7.16	9.70	3.30	2.88	3.95	1.26	1.93	2.37	0.89
PUENTE NEGRO. PTO. VERA CRUZ	5.35	8.34	2.83	1.23	14.65	0.44	1.95	2.23	0.87
COL. FELIPE ANGELES. DOROTEO ARANGC	7.88	10.05	3.45	8.58	14.83	2.33	2.35	2.46	0.52
COL. HECTOR MAYAGOITIA. CATALINO HERRERA	6.16	9.24	3.39	3.16	6.80	0.35	1.44	9.80	0.86
AMPLIACION PRL. BUGAMBILIA	14.20	18.30	4.68	8.20	8.55	1.92	2.44	2.51	0.36
FRAC. LAS PLAYAS. PLAYA ESCONDIDA	1.09	1.35	0.32	0.55	0.94	0.01	1.97	3.78	4.07
COL. TIERRA BLANCA. PRIV ARMANDO HERRERA	1.10	1.37	0.24	1.10	4.25	0.13	1.08	4.03	0.16
ZONA CENTRO. JUAREZ ENTRE NEGRETE Y AQUILES SERDAN	1.32	6.24	0.23	7.56	9.65	2.50	4.46	5.95	1.45
ZONA CENTRO. BLAS CORRAL	1.71	2.30	0.31	4.38	7.55	1.24	6.29	8.71	3.25
COL. REAL DEL PRADO. PLAZA SAN PEDRO	1.16	1.33	0.30	7.79	8.37	3.67	3.42	5.58	1.43
FRAC. CERRO DEL MERCADO. CERRO DEL MERCADO	8.11	10.96	2.43	2.20	5.20	0.98	4.47	5.57	1.86
FRAC. SAN IGNACIO. CALLE SILVERIO PEREZ	11.50	6.65	2.54	3.80	5.80	1.78	4.07	5.15	1.02
FRACC. JARDINES DE DGO. AVENIDA DE LAS AZUCENAS	5.60	11.47	1.89	2.40	5.33	0.83	10.90	26.00	3.47
AV. CIMA	0.75	1.09	0.00	1.46	3.98	0.67	2.44	5.06	0.78
COL. JOSE ANGEL LEAL. SILVESTRE REVUELTAS	6.58	10.57	3.40	3.63	5.11	0.56	4.65	8.38	1.49
FRACC. SAN JUAN. CIRCUITO SAN JOSE	5.46	8.50	3.30	1.71	2.52	0.63	1.75	4.52	0.84

¡Error! Marcador no definido.

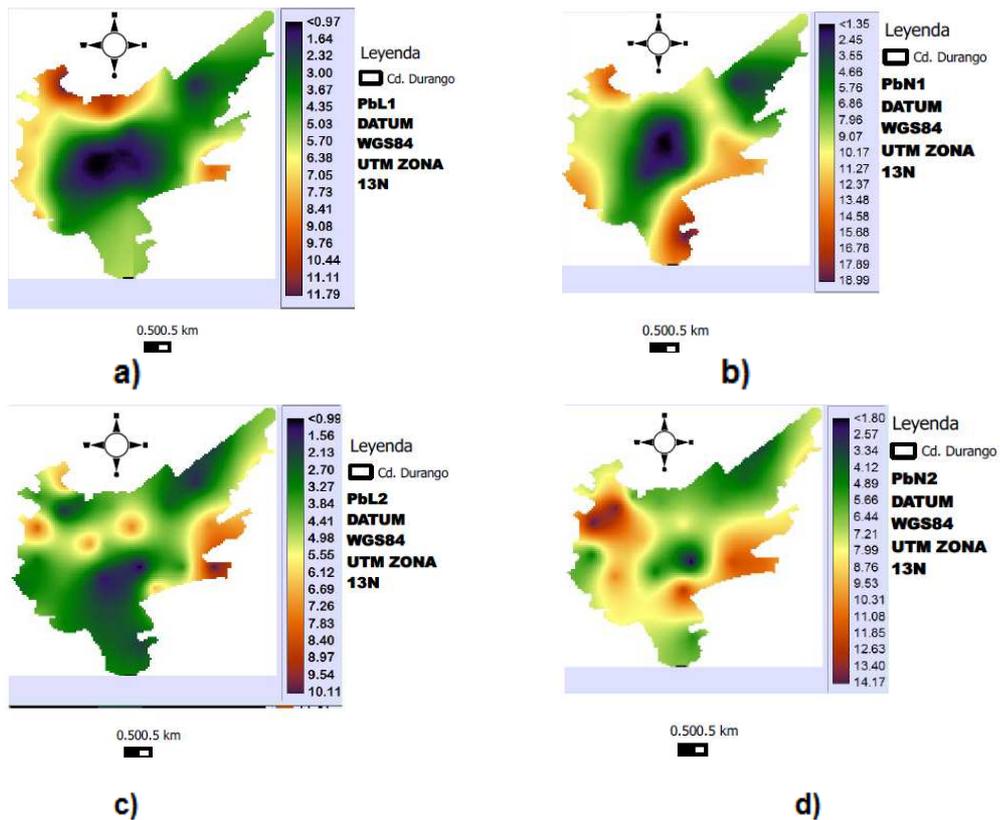
6.1.5.1 Análisis descriptivo.

Utilizando los datos de las concentraciones de las hojas y las partículas de Pb se realizó un análisis estadístico descriptivo para conocer su comportamiento. (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis descriptivo de las concentraciones de Pb.

Variable	Media	Mediana	Moda	Minimo	Maximo	Desv.est.	Curtosis	Asimetría
PbP1	1.84	1.80	Multiple	0.00	4.68	1.28	0.24	-0.97
PbL1	5.05	4.91	Multiple	0.75	14.20	3.31	0.88	0.70
PbN1	8.81	8.89	Multiple	1.09	20.47	4.99	0.25	-0.22
PbP2	1.34	1.11	Multiple	0.01	4.25	1.01	1.25	1.47
PbL2	4.04	3.18	Multiple	0.00	10.55	2.72	0.74	-0.37
PbN2	7.74	7.55	7.55	0.94	14.83	3.43	0.34	-0.20
PbP3	1.77	1.27	0.45	0.16	9.45	1.91	2.64	8.58
PbL3	4.38	3.24	2.44	0.00	16.32	4.18	2.05	3.46
PbN3	8.67	5.58	Multiple	2.23	44.30	8.78	2.76	9.03

6.1.5.2. Interpolación de *Kriging* de concentraciones de Pb en las hojas de *L. lucidum* en la ciudad de Durango



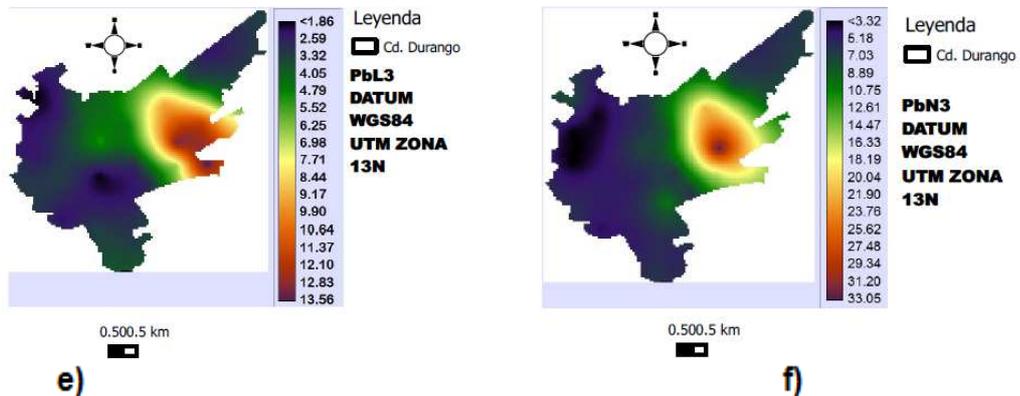


Figura 17. Mapas de distribución de concentraciones de Pb en las hojas de *L. lucidum*.

Fuente: Elaboración propia utilizando Idrisi Kilimanjaro.

6.1.5.3 Interpolación de *Kriging* de concentraciones de Pb en las partículas recuperadas del lavado de hojas de *L. lucidum* en la ciudad de Durango.

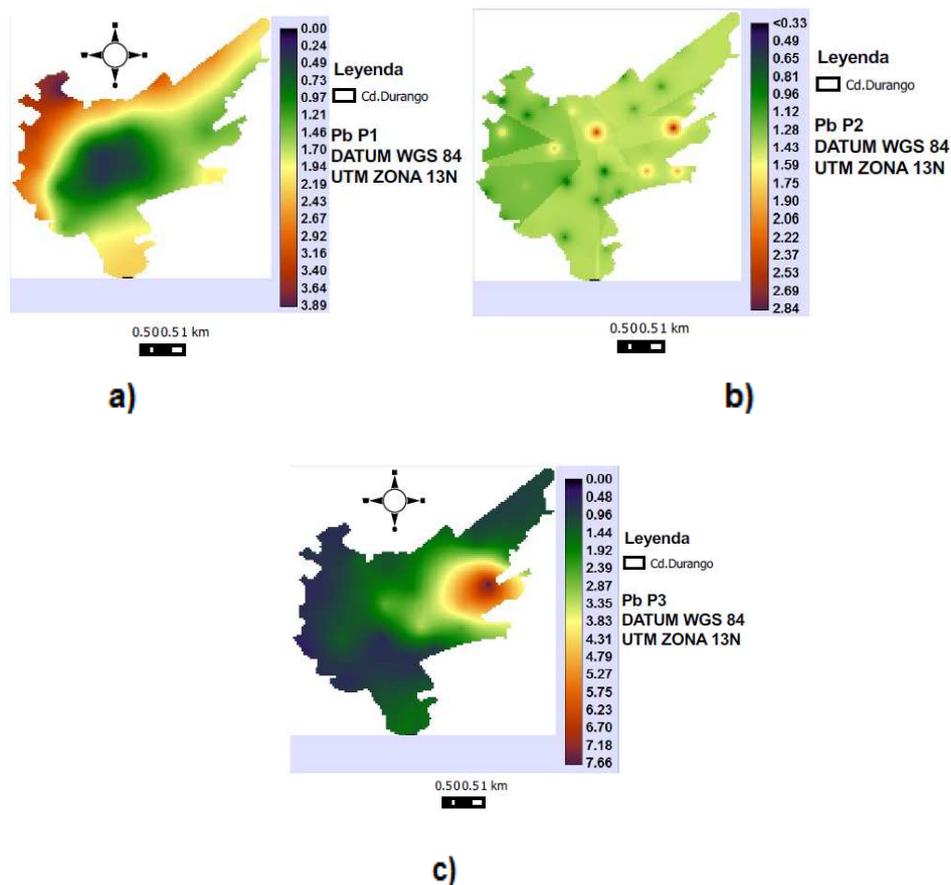


Figura 18. Mapas de distribución de concentraciones de partículas de Pb.

Fuente: Elaboración propia utilizando Idrisi Kilimanjaro.

Los datos de las concentraciones de Pb para cada muestreo presentan una media y mediana cercanas, mientras que para los muestreos N1-L1-P1, L2-P2, N3 no presentan moda, lo cual significa que ninguno de los datos se repite más de una vez. Los muestreos N2.L3-P3 presentan una moda bimodal; los del muestreo N3, tienen un rango elevado, probablemente porque existe algún dato muy por encima de la media. Estos datos presentan una distribución normal, con una curtosis positiva para la mayoría de los muestreos pues se encuentran distribuidos a la derecha de la media. Los muestreos P1-N1, N2-L2, presentan una asimetría negativa,. Los muestreos L1-N1-P1, L2-N2-P2, L3-N3-P3 presentan una prueba de R^2 mayor a 0.80 y una prueba de kappa mayor a 0.90, para una p de 0.05, por lo que se deduce que L y N de cada muestreo no presentan una diferencia significativa entre sí.

En los mapas a, c y e para hojas lavadas se puede observar que la zona con mayor concentración de Pb que aparece en los tres mapas es la zona E de la ciudad, en donde la mayor concentración de este metal se encontró en el muestreo tres. En esta zona se encuentran muchas calles con suelo desnudo, además de varias ladrilleras. En los mapas b, d y f que corresponde a los muestreos para hojas que no fueron lavadas, las zonas que presentaron la mayor concentración de plomo en la ciudad, fueron las zonas cercanas a la industria minera y las que tienen calles con suelo desnudo; resultados que están de acuerdo a la referencia de Casas (2008), quien señala que este tipo de suelos se encuentran contaminados por plomo acumulado durante varias décadas a causa de las emisiones de los automóviles; además, de que esta contaminación se presenta en forma natural en todas las rocas, suelos, tierras y polvos, en una proporción que, normalmente, varía entre 2 - 200 ppm; por lo cual las altas concentraciones de plomo en estos sitios, pueden deberse también al desprendimiento del suelo por acción del viento y del paso de automóviles.

Si se comparan los resultados de plomo obtenidos para la ciudad de Durango, con los encontrados por Aksoy y Sahin (1998) en Kayseri, Turquía sobre *E. angustifolia*

L. y que fueron para flujo vial de 75.82 - 10.4 ppm en hojas sin lavar y 35.25 - 3.21 ppm para hojas lavadas; son muy bajos, probablemente porque en México las gasolinas con plomo dejaron de utilizarse a partir de 1992.

6.1 Correlaciones.

Se realizó una correlación de Spearman con una significancia de $p < .05$ utilizando las medias obtenidas para cada metal en cada uno de los muestreos (Cuadro 17), en el cual se muestra que la mayoría de los metales tienen una correlación alta, mayor a 0.70, a excepción del Mn que solo se correlaciona con el hierro.

De acuerdo a Fernández *et al.*, (2000), metales como Fe, Mn, Pb, Cu y Zn aparecen en diferentes tipos de fuentes como suelo, tráfico vehicular e industrias, por lo que cuando existen suelos desnudos, la acción del aire y el paso de vehículos, los cuales son arrastrados hasta las hojas de los árboles como partículas sedimentables totales, a su vez pueden entrar en contacto con las personas y ser inhalados ocasionando serios problemas en la salud. Con el resultado de estas correlaciones podemos decir que en los lugares donde se encuentren concentraciones altas de Fe puede existir presencia de los demás metales en la misma o menor concentración, mientras que en lugares con alta concentración de Mn puede que se encuentren altas concentraciones de Fe ya que estos metales tienen una correlación muy grande.

Cuadro 17. Correlaciones entre las medias de cada metal por muestreo.

Variable	Cu	Zn	Pb	Fe	Mn
Cu	1	0.87	0.78	0.84	0.34
Zn	0.87	1	0.83	0.83	0.43
Pb	0.78	0.83	1	0.99	0.69
Fe	0.84	0.83	0.99	1	0.72
Mn	0.34	0.43	0.69	0.72	1

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados en esta investigación indican que la contaminación por los metales pesados analizados para la ciudad de Durango, es relativamente baja, si se comparan con los reportados para otras ciudades como Curitiba, Br., y Kayseri, Trq., en donde se han realizaron estudios utilizando especies vegetales como agentes de retención de contaminantes. Con la interpolación de kriging se observa de manera muy clara la distribución de los metales pesados en distintas zonas de la ciudad y las áreas de mayor concentración, las cuales se ubican en zonas en donde se encuentran el mayor número de calles con suelos desnudos, por lo que el arrastre del polvo por acción del viento y del paso de vehículos de motor, liberan estos metales, que se depositan también en plantas. Así mismo, la zona con mayor concentración de este tipo de metales, es el área cercana a la industria minera y en donde también se encuentra grandes extensiones de suelo desnudo. Así mismo, se puede aseverar que el Trueno (*Ligustricum lucidum* A.), es una especie vegetal que cumple con todas las condiciones necesarias para determinar la presencia de metales pesados en el ambiente de la ciudad de Durango.

Con base en lo anterior, se recomienda utilizar por lo menos dos especies vegetales diferentes para comparar la capacidad de retención de las plantas por este tipo de metales, tanto desde el punto de vista cuantitativo, como cualitativo. Se necesita complementar con los análisis de suelos en donde se encuentren las especies vegetales seleccionadas e interpolar los resultados con datos climatológicos para elaborar un modelo más exacto de la realidad. También es importante realizar un muestreo dirigido hacia zonas más específicas, en donde pudiera existir un problema de contaminación por metales pesados y en todos estos casos comparar con el método utilizado por Secretaria de Recursos Naturales y Medio Ambiente del estado de Durango.

Así mismo, se sugiere realizar este tipo de estudios en zonas mineras de difícil acceso, en donde se dificulta el uso de equipo especializado para monitorear en el aire y en los suelos de las minas, la concentración de metales pesados para evitar

intoxicaciones en los trabajadores y habitantes que están expuestos a estos contaminantes.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, A. 2011. Modelos de dispersión de los contaminantes atmosféricos de fuentes móviles de la ciudad de Durango. Durango: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental IPN-CIIDIR-DGO.
- Aidid, S. 1988. Determinacion de elementos traza en hojas de arboles tropicales en Malasia por analisis de activacion neutronica. *Radionalitycal and Nuclear Chemistry*, 120:2.
- Aksoy, A., & Sahin, U. (1998). *Eleagnus angustifolia* L. as Biomonitor of heavy metal pollution. *Turkish Journal of Botany*, 23:83-87.
- Alatzne, C. Z. 1995. Estudio de métodos analíticos para la determinación de metales en el suelo y vegetacion influencia de trafico rodado. Coruña: Universidad da Coruña Memoria de trabajo de fin de grado en química.
- Alcalá, J., , J. C Rodríguez., M. Á Tiscareño., A. Hernandez., J.Tapia., C. Loredo., E. Villaseñor 2011. Mitigación del impacto ambiental del polvo atmosférico a través de *Prosopis laevigata* y *Schinus molle*, San Luis Potosí, México. *Multequina*,20: 83-96.
- Amberger, A. 1979. Pflanzenernährung ökologische und physiologische grundlagen. *Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente* Stuttgart: Ulmer.pág. 846..
- Amitosh, V., y Singh, S. N. 2006. Higher plants as bioindicators of sulphur dioxide emissions in urban environments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 120:585–602.
- Anze, R., F. Margot, y P. Rene. 2007. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. *Revista virtual Redesma*,1: 1-3.
- Arroyo Porras, O., Cuatecatl Nuñez, I., y Lazcano Herrero, M. 2008. Valoracion de metales pesados en PST en biomasa de caña. *Enlace quimico*, 2(1): 5-10.

- Bravo, H. 1986. La atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Desarrollo y Medio Ambiente. Fund. Mex. Rest.*, 2: 2-3.
- Bruno, G., L. Stiefkens., M. Hadid, I. Liscovsky, M. Cosa, N. Dottori. 2007. Efecto de la contaminación ambiental en la anatomía de la hoja de *Ligustrum lucidum* (Oleaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 42: 231-236.
- Casas, J. J. 2008. *escholarum*. Recuperado el 10 de mayo de 2014, de *escholarum*: <http://genesis.uag.mx/escholarum/vol6/intoxicacion.ht>
- CONABIO. 2012. *Biodiversidad mexicana*. Recuperado el 6 de mayo de 2013, de Biodiversidad mexicana: <http://www.biodiversidad.gob.mx/>
- Dalmaso, A., Candia, R., y Llera, J. 1997. La vegetación como indicador de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina*, 6: 91-97.
- DHHs.gov, T. U. 2010. *The U.S. Department of Health and Human Services*. Recuperado el 15 de enero de 2014, de The U.S. Department of Health and Human Services: http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html
- Dimitri, R. 1972. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Buenos Aires: Ed. Acme.
- Eastman, R. J. 2003. *Guía para Sig y procesamiento de imágenes*. worcester massachusetts: Clark Labs.
- Falla, J., y Laval-Gilly, P. 1999. Monitoreo biológico de la calidad del aire: una revisión. *Genic biologique*, 45:628-642
- Fernández, A., M. Ternero, F. Barragán, J. Jiménez. 2000. An approach to characterization of sources of urban airborne particles through heavy metal speciation. *Chemosphere - Global Change Science*, 2: 123-136.
- Gamez Fernandez de lara, X. (3 de julio de 2013). *Los metales pesados presentes en el aire*. Recuperado el 20 de enero de 2014, de Los metales pesados

presentes en el aire: <http://suite101.net/article/los-metales-pesados-presentes-en-el-aire-a62816#.U305Bfl5Nu4>

González Elizondo, M. 2008. *Árboles y arbustos de los parques y jardines del norte-centro de México*. (Primera ed.). México: Instituto Politécnico Nacional.

Hernández G., M. 2007 *Laboratorio Nacional de Geoprocésamiento de Información Fitosanitaria(langif)*. Recuperado el 4 de marzo de 2014, de Laboratorio Nacional de Geoprocésamiento de Información Fitosanitaria(langif): langif.uaslp.mx/

Herrera, k. 2009. *Evaluación de la contaminación en suelos por plomo*. Tesis de Licenciatura Universidad del Salvador ,San Salvador.

Idrisi Kilimanjaro 1987-2003. Clark Labs. Consultado en mayo 2014.

INEGI. 2011. *Anuario Estadístico del Estado de Durango*. México: INEGI.

INE-SEMARNAT. (s.f.). *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*. Recuperado el 1 de 11 de 2012, de <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/new.consultaListaPub.php>

Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. 1992. *Trace elements in soils and plants* (Vol. 2da). Estados Unidos de America: CRC Press Inc.

Morales, Z. 2009. *Bioindicadores urbanos de metales en material particulado del aire a partir de dos especies de Geckonidos*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Altamira. IPN. Alatomira.

Piñero, M., P. López, S. Muniategu, D. Prada, X. Querol, A. Alastuey. 2003. A new method for the simultaneous determination of PHA and metals in samples of atmospheric particulate matter. *Atmospheric Environment*, 37: 4171-4175.

Pyykko, M. 1970. Morphology and anatomy of leaves of some woody plants in a humid tropical forest of Venezuelan. *Acta Botanica Fennica*, 112: 1-41.

- Quijano, A., Quijano, M., Henao, J. 2010. Caracterización fisicoquímica del material particulado fracción respirable PM 2.5 en Pamplona Norte de Santander-Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 8: 1-20.
- Ramos, H. S., Bautista, M. R., Valdez, M. A. 2010. Estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en la zona norte de Chiapas, México. *Universidad y Ciencia*, 26: 65-80.
- Romero, G. T., Reyes, G. R. 2005. Influencia de emisiones naturales y antropogénicas en el material aerotransportado del Valle de Toluca. *Contacto nuclear*, 12-16.
- Rucadio, M., Petty, M., Fidalgo, C. 2010. Biomonitorio de elementos químicos en un ambiente urbano usando especies vegetales, arboles y arbustivas. *Environmental Science Pollution* 18: 51-63.
- Sanín, N. 2002. *Construcción de un modelo tridimensional para ajuste de campo de viento y dispersión de contaminantes en la atmósfera*. Tesis Doctoral. Universidad de las Palmas. Isla de la Gran Canaria.
- Santoni, S. 2006. Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 11(1):49-58.
- Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado. (6 de junio de 2012). Medición de Partículas PM10 y PM2.5 en la ciudad de Durango. Durango, Durango, México.
- SEMARNAT. (2008). SEMARNAT. Recuperado el 15 de Octubre de 2012, de SEMARNAT:
http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/documents/sniarn/pdf/yelmedioambiente/version_2008/5_contaminacion_v08.pdf
- SEMARNAT. 2011. *Publicaciones*. Recuperado el 15 de 09 de 2012, de www.semarnat.gob.mx
- SIMAT. 2010. *Sistema de Monitoreo Atmosférico del DF*. Recuperado el 15 de 11 de 2012, de

<http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php?opcion=4&opcionrecursos=15>

Singh, N.,M. Yunus,K. Srivastava, S. Singh,V. Pandey, J. Misra. 1994. Monitoring of auto exhaust pollution by roadside plants. *Environmental Monitoring and Assessment*, 3:13-25.

Spiro, T., y Stigliani, W. 2004. *Química del medio ambiente*. Madrid, España.

StatSoft 1984 Statistica [Software de cómputo] .Disponible en <http://www.statsoft.com/#>. Consultado en diciembre 2013.

Sternbeck, J., Sjödin, K., Andreasson, A. 2002. Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension - results from two tunnel studies. *Atmospheric Environment*,36: 4735-4744.

Takoe, I. M. y Bruno, R. C. (1990). Efeitos da poluicao na fotossíntese, dimensoes da folha deposicao de particulao e cotéudo de ferro, cobre em alfeneiro (*Ligustrum lucidum*) da arborizacao de Curitiba,Brazil. 3er. Encontro Nacional sobre Arborizacao Urbana. 21: 3-11. Curitiba,Br.: *Floresta*.

Umbria, A., M. Galan, M. Muñoz, R. Martin.2004. Characterization of atmospheric particles: analysis of particles in the campo Gibraltar. *Atmósfera*, 17:191-206.

Wannaz, E., Rodriguez, J., & Carreras, H. 2012. Accumulation of Aluminium and Physiological Status of Tree Foliage in the Vicinity of a Large Aluminium Smelter. *The ScientificWorld Journal*, 15:6-7.

Ward, N., & Savage, J. (1994). Metal dispersion and transportational activitites using food crops as biomonitors. *The Science of the Total Environment*, 20:309-319

ANEXO

Anexo

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUB-GERENCIA DE INGENIERIA DE APOYO
OBSERVATORIO METEOROLOGICO
RESUMEN DEL MES DE OCTUBRE DE 2013

DIA	precipitación	temp. Media	Vto. Dominante	vel. Viento	Humedad relativa
1	0.0	16.9	C	6.3	73.4
2	6.7	16.5	ESE	5.6	70.5
3	0.0	15.4	C	4.4	65.9
4	0.0	15.7	SW	5.3	61.9
5	0.0	15.9	WSW	3.3	59.6
6	8.8	15.8	NE	6.2	72.6
7	0.0	15.2	C	4.2	74.8
8	0.2	13.5	C	3.9	65.6
9	0.0	14.8	WSW	4.4	59.3
10	0.0	13.8	WSW	5.3	57.2
11	0.0	13.3	NE	3.3	59.4
12	6.2	14.9	C	4.4	72.8
13	0.0	16.1	C	3.2	75.6
14	0.0	15.7	C	5.2	67.5
15	0.0	15.2	WSW	4.9	58.5
16	0.0	14.4	NE	4.4	59.4
17	0.0	14.4	C	5.6	63.0
18	0.0	13.6	WSW	5.3	59.0
19	0.0	12.7	W	7.0	55.5
20	0.0	12.3	WSW	5.3	58.3
21	0.0	10.2	C	3.1	50.5
22	0.0	10.5	C	4.2	52.6
23	0.0	11.6	C	3.7	56.0
24	0.0	11.4	C	4.2	53.9
25	0.0	10.3	C	3.3	51.7
26	0.0	10.0	C	9.2	46.3
27	0.0	10.8	C	3.1	50.3
28	0.0	12.4	SW	6.6	53.3
29	0.0	13.1	WSW	4.7	50.1
30	0.1	13.9	WSW	5.6	61.5
31	0.0	14.8	C	6.3	61.9

precipitacion=mm
temp= *C
vel.viento=km/h

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUB-GERENCIA DE INGENIERIA DE APOYO
OBSERVATORIO METEOROLOGICO
RESUMEN DEL MES DE NOVIEMBRE DE 2013

DIA	precipitación	temp. Media	Vto. Dominante	vel. Viento	Humedad relativa
1	0.0	16.9	NE	6.3	59.8
2	0.0	16.5	NE	5.6	51.3
3	1.8	15.4	WSW	4.4	61.4
4	27.0	15.7	WSW	5.3	75.4
5	0.0	15.9	SW	3.3	65.9
6	0.0	15.8	NE	6.2	66.1
7	3.5	15.2	NE	4.2	80.8
8	13.1	13.5	NNE	3.9	92.9
9	0.0	14.8	NE	4.4	77.4
10	0.2	13.8	SE	5.3	80.3
11	0.0	13.3	0	3.3	73.5
12	0.2	14.9	NE	4.4	72.7
13	1.0	16.1	NE	3.2	86.0
14	0.0	15.7	ESE	5.2	73.5
15	0.0	15.2	NE	4.9	70.6
16	0.3	14.4	SW	4.4	73.2
17	0.0	14.4	WSW	5.6	71.5
18	0.3	13.6	WNW	5.3	73.6
19	0.0	12.7	SW	7.0	64.9
20	3.0	12.3	SW	5.3	55.1
21	0.0	10.2	WSW	3.1	64.1
22	0.0	10.5	WSW	4.2	64.4
23	0.0	11.6	WSW	3.7	65.9
24	0.0	11.4	SW	4.2	68.0
25	0.0	10.3	0	3.3	63.6
26	0.0	10.0	NE	9.2	63.0
27	0.0	10.8	NE	3.1	62.8
28	0.0	12.4	NE	6.6	56.8
29	0.0	13.1	SE	4.7	55.2
30	0.0	13.9	NE	5.6	54.9

precipitacion=mm
temp= *C
vel.viento=km/h

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUB-GERENCIA DE INGENIERIA DE APOYO
OBSERVATORIO METEOROLOGICO
RESUMEN DEL MES DE DICIEMBRE DE 2013

DIA	precipitación	temp. Media	Vto. Dominante	vel. Viento	Humedad relativa
1	0.0	7.6	NE	1.7	55.4
2	0.0	9.6	SW	3.0	53.1
3	0.0	10.5	SW	6.6	54.3
4	0.0	11.7	WNW	7.6	58.8
5	0.0	10.3	WSW	8.3	58.1
6	0.0	9.5	SW	7.8	56.0
7	0.0	9.0	SW	9.2	51.2
8	0.0	9.4	SW	7.9	56.6
9	0.0	9.4	WSW	8.0	62.6
10	0.0	8.3	WNW	4.4	58.7
11	0.0	8.6	NNE	2.5	48.9
12	0.0	8.9	WSW	3.6	52.8
13	0.0	10.1	WNW	9.4	52.6
14	0.0	9.1	NE	6.2	46.1
15	0.0	5.4	NE	3.8	56.9
16	0.0	6.2	N	3.5	57.5
17	0.0	6.7	NE	3.0	52.6
18	0.0	7.8	SW	4.8	52.7
19	0.0	9.0	W	7.8	48.1
20	6.1	9.5	WSW	7.4	66.1
21	0.0	8.8	WSW	11.3	61.0
22	0.0	8.9	N	5.6	81.1
23	0.0	8.1	WSW	8.8	71.1
24	0.3	7.7	SSW	5.4	80.1
25	0.0	9.2	S	6.7	75.5
26	3.5	6.9	SSE	3.1	88.4
27	0.8	7.4	E	5.3	78.0
28	0.1	7.5	WSW	5.4	71.7
29	0.0	6.7	WSW	7.2	65.7
30	0.0	7.5	ENE	4.6	72.0
31	0.0	6.1	SW	3.2	88.1

precipitacion=mm

temp= *C

vel.viento=km/h

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUB-GERENCIA DE INGENIERIA DE APOYO
OBSERVATORIO METEOROLOGICO
RESUMEN DEL MES DE ENERO DE 2013

DIA	Precipitación	temp.Media	Vto.Dominante	Vel.Viento	Humedad relativa
1	1	6.3	SE	8.5	86.88
2	0	3.1	NE	10.5	75.2
3	0	7.3	NE	8.5	68.29
4	0	1.1	SO	19.9	60.92
5	0	3.2	S	6.4	61.45
6	0	7.7	NO	17.3	59.06
7	0	5.7	S	12	64.65
8	0	1.4	S	19	52.23
9	0	-0.1	SO	17.6	44.21
10	0.2	-3.2	SO	35.9	45.09
11	5.4	-2.2	E	15.3	58.35
12	0	3.9	S	30.7	69.99
13	0	-2.2	S	9.1	53.23
14	0	-1.7	NE	7	52.16
15	0	-2.7	NE	11.1	46.11
16	0	-1.9	NE	6.9	38.61
17	0	-3	SO	8.4	46.45
18	0	-0.7	E	10.1	44.84
19	0	-0.8	SO	6.6	51.98
20	0	1.7	E	9.5	53.54
21	0	3.1	N	11.5	50.81
22	0	0.4	S	23.3	49.25
23	0	5	O	10.1	49.93
24	0	3.4	NO	8.8	58.5
25	0	3	SO	10.1	61.82
26	0	5	O	23.6	44.04
27	0	7.4	S	21.5	45.57
28	0	6.1	S	28.8	55.1
29	0	1.4	N	6.7	60.36
30	0	1.7	E	12.9	52.33
31	0	2.1	SO	23.7	43.68

PREC=mm
tmp=*C
Vel=km/h

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUB-GERENCIA DE INGENIERIA DE APOYO
OBSERVATORIO METEOROLOGICO
RESUMEN DEL MES DE FEBRERO DE 2013

DIA	Precipitación	temp.Medía	Vto.Dominante	Vel.Viento	Humedad relativa
1	0.0	6.5	WNW	1.2	42.2
2	0.0	7.7	C	0.0	39.5
3	0.0	7.1	WSW	4.1	40.4
4	0.0	6.1	SW	3.4	27.9
5	0.0	6.5	WSW	3.8	36.8
6	0.0	6.0	WSW	3.1	29.6
7	0.0	7.3	WSW	2.2	33.0
8	0.0	6.7	SE	0.9	36.9
9	0.0	7.3	C	0.0	34.6
10	0.0	8.2	C	0.0	34.6
11	0.0	8.2	SW	2.1	27.3
12	0.0	7.1	C	0.0	40.9
13	0.0	6.5	C	0.0	32.5
14	0.0	7.5	SSE	0.9	35.7
15	0.0	6.8	C	0.0	32.9
16	0.0	10.1	C	0.0	39.8
17	0.0	9.6	C	0.0	39.3
18	0.0	9.6	C	0.0	36.5
19	0.0	9.4	WSW	3.0	39.9
20	0.0	7.6	SW	2.0	31.5
21	0.0	6.9	C	0.0	33.5
22	0.0	8.4	WSW	2.1	35.7
23	0.0	10.4	WSW	2.4	40.9
24	0.0	9.8	SW	2.9	40.7
25	0.0	8.0	WSW	1.7	31.2
26	0.0	8.4	WNW	1.8	37.1
27	0.0	8.3	C	0.0	38.6
28	0.0	10.0	WSW	1.6	42.3

PREC=mm

tmp=*C

Vel=km/h

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUB-GERENCIA DE INGENIERIA DE APOYO
OBSERVATORIO METEOROLOGICO
RESUMEN DEL MES DE MARZO DE 2013

DIA	Precipitación	temp.Medía	Vto.Dominante	Vel.Viento	Humedad relativa
1	0	17.17	(S)	23.6	39.95
2	0	17.07	(SE)	22.8	35.56
3	0	15.27	(SO)	25	38.72
4	0	15.24	(S)	25.1	41.08
5	0	14.74	(E)	11.3	33.91
6	0	14.64	(S)	19.7	39.15
7	0	15.31	(S)	28.4	41.01
8	0	15.57	(S)	31.5	47.29
9	0	14.04	(S)	37.3	53.34
10	0.4	12.86	(S)	28.7	51.46
11	0	14.24	(E)	13.2	47.48
12	0	16.24	(SO)	9	41.6
13	0	15.65	(S)	29	40.15
14	0	15.92	(SO)	35.4	31.18
15	0	14.52	(S)	29.5	32.21
16	0	11.25	(N)	27.7	44.17
17	0	9.02	(N)	16.4	34.72
18	0	15.06	(S)	19.3	20.91
19	0	16.63	(SO)	11.9	27.64
20	0	17.73	(SO)	20.4	35.47
21	0	18.51	(SO)	26.2	38.47
22	0	18.13	(S)	30.3	40.31
23	0	19.11	(SO)	23.6	32.68
24	0	20.38	(SO)	18.4	28.22
25	0	18.56	(SE)	22.1	34.4
26	0	16.49	(S)	32.1	42.73
27	0	16.81	(SO)	38.9	30.32
28	0	17.16	(SE)	18	31.85
29	0	17.78	(S)	16.4	35.32
30	0	18.67	(S)	28.3	33.34
31	0	18.19	(S)	18.2	32.8

PREC=mm

tmp=*C

Vel=km/h

**COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUB-GERENCIA DE INGENIERIA DE APOYO
OBSERVATORIO METEOROLOGICO
RESUMEN DEL MES DE ABRIL DE 2013**

DIA	Precipitación	temp.Media	Vto.Dominante	Vel.Viento	Humedad relativa
1	0	18.52	(S)	25.3	28.88
2	0	17.27	(SO)	29.8	32.89
3	0	17.09	(SO)	33	31.22
4	0	16.65	(SO)	25.4	26.7
5	0	18.17	(S)	36.1	24.95
6	0	17.12	(S)	33.8	31.83
7	0	14.49	(N)	16.9	33.02
8	0	12.38	(N)	14.5	23.35
9	0	15.75	(NO)	9.5	22.72
10	0	19.65	(S)	13.5	31.92
11	0	20.91	(S)	21	33.59
12	0	21.38	(S)	20.6	28.82
13	0	20.55	(SO)	27.9	30.3
14	0	19.74	(S)	19.9	29.6
15	0	16.21	(NE)	11.2	28.99
16	0	17.27	(S)	24.1	37.35
17	0	18.97	(S)	16.1	25.29
18	0	18.67	(S)	21.9	36.94
19	0	20.09	(S)	27.4	34.95
20	0	19.47	(S)	25.5	33.9
21	0	20.37	(SO)	20.6	35.96
22	0	20.68	(S)	26.1	32.27
23	0	21.03	(SO)	24.7	30.26
24	0	19.95	(SO)	23.4	32.23
25	0	21.12	(S)	25.2	27.01
26	0	19.06	(SO)	27.6	33.32
27	0	19.29	(SO)	28.8	36.49
28	0	20.78	(S)	19.6	39.22
29	0	21.58	(S)	23.1	33.39
30	0	20.12	(SO)	22.2	36.64

PREC=mm

tmp=*C

Vel=km/h

Hojas de registro de precipitación, temperatura media, dirección del viento, velocidad del viento y humedad relativa de los meses octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril.