



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Evaluación de partículas menores a $10 \mu\text{m}$ en dos
poblados cercanos al ingenio azucarero *San Rafael*
de Pucté

TESIS

Para obtener el grado de
Ingeniero Ambiental

PRESENTA

CARRILLO MEDINA CLAUDIA KARINA
SANSORES MANZANILLA MAYRA ALONDRA

DIRECTOR DE TESIS

BIOL. LAURA PATRICIA FLORES CASTILLO

ASESORES

M. en C. VÍCTOR F. MIRANDA SOBERANIS
M.I.A. JUAN CARLOS ÁVILA REVELES
M. en C. JOSÉ MARTÍN RIVERO RODRÍGUEZ
ING. JOSÉ LUIS GUEVARA FRANCO



Chetumal Quintana Roo, México 2014.



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Trabajo de Tesis elaborado bajo supervisión del Comité de
asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado
de:

INGENIERO AMBIENTAL

Comité de Trabajo de Tesis

Director:

Laura Patricia Flores Castillo
Biol. Laura Patricia Flores Castillo

Asesor:

Víctor F. Miranda Soberanis
M. en C. Víctor F. Miranda Soberanis

Asesor:

Juan Carlos Ávila Reveles
M.I.A. Juan Carlos Ávila Reveles



Chetumal Quintana Roo, México 2014

Agradecimientos:

Agradecemos a nuestros amigos Pílar Alvarado, Claudia Correa, Adalberto Cerón, Moisés Mezquita, Fanny Perera, Yazmín Rodríguez, Janet Valdéz, por su amistad y apoyo brindado durante todo este tiempo, por acompañarnos en las risas, las noches de desvelo, las alegrías, etc., es decir en los mejores momentos y en los no tanto, por la dicha de conocerlos y por formar parte de nuestro éxito, pero sobre todo por su incondicional amistad, por todo esto y más, gracias.

De igual manera les agradecemos a nuestro compañeros de la carrera de Ing. Ambiental por el tiempo compartido y por su apoyo académico.

Al excelente comité de tesis:

Bíol. Laura Patricia Flores Castillo que bajo su cargo se completó esta tesis importante en nuestra formación académica, por su apoyo y dedicación, así como también por los conocimientos brindados.

M. en C. Víctor F. Miranda Soberanis por ser pieza clave de esta tesis, que con su dedicación, paciencia, orientación, y amplios conocimientos nos guió paso a paso hacia el éxito, pero sobre todo le agradecemos por su amistad y su incondicional apoyo.

Por último y no menos importante agradecemos a M.I.A. Juan Carlos Ávila Revelés por todo el apoyo brindado durante toda la carrera, por formar parte de nuestros logros académicos, por su amistad, el tiempo dedicado y por ser un excelente maestro.

Agradecemos a los docentes de la Licenciatura en Ing. Ambiental por todos los conocimientos brindados.

A la División de Ciencias e Ingeniería por el apoyo recibido para la impresión de esta tesis.

Y por último a la máxima casa de estudios Universidad de Quintana Roo.

Agradecimientos Claudía Karina:

Le agradezco a Dios por darme salud y vida para poder llegar a esta meta.

A mi tía Elsy y a mi mamá Guadalupe: porque con su amor cariño, guía y apoyo he realizado un logro más en mi vida, fruto del amor y la confianza que han depositado en mí.

Por último agradezco a mis grandes amigas Diana, Alondra y Sarahí por formar parte de este gran logro, por motivarme a seguir adelante, por brindarme el apoyo necesario, por estar conmigo en las buenas y en las malas, pero sobre todo por su incondicional amistad y cariño.

Agradecimientos Mayra Alondra:

A mis padres: por el apoyo, cariño y amor que me han dado durante mi vida, gracias a ellos, hoy con éxito terminar mi carrera, siendo el mejor regalo que me han dado.

A mi novia: por su incondicional apoyo durante todo el tiempo que ha estado conmigo, por su perseverancia, cariño, amor y los ánimos para alcanzar mis objetivos, por estar siempre a mi lado alentándome a seguir. Gracias amor mío, gracias por todo lo que me das.

A mis hermanos: por su cariño y darme el ejemplo a seguir con mis estudios.

A mi amiga y compañera de tesis, Claudía, por ser una gran amiga, por darme su apoyo en las buenas y en las malas, por su gran e incondicional amistad, gracias loka, gracias por acompañarme durante este gran logro.

CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES	
2.1 Contaminación del aire	9
2.1.1 Fuentes de contaminación	10
2.1.2 Exposición a contaminantes atmosféricos	10
2.2 Partículas suspendidas	11
2.2.1 Tamaño de las partículas	12
2.2.1.1 Partículas menores a 10 micras (PM ₁₀)	15
2.2.2 Índice metropolitano de la calidad del aire (IMECA)	17
2.2.2.1 Valores normados para los contaminantes del aire en México	18
2.3 Efectos en la salud	21
2.4 Estudios realizados sobre los efectos de la quema de caña	24
2.5 Estudios de contaminación en el aire por partículas en México	28
2.6 Industria azucarera	31
2.7 Estudios de PM ₁₀ en Quintana Roo	39
2.8. Descripción del área de estudio	40
2.8.1 Localización	40
2.8.2 Orografía	40
2.8.3 Hidrografía	41
2.8.4 Clima	41
2.8.5 Demografía	41
2.8.6 Ecosistemas y tipos de suelo	42
2.8.7 Actividad económica de los habitantes	42
2.8.8 Aspectos ambientales	43
CAPÍTULO III. MARCO LEGAL	45

CAPÍTULO IV. JUSTIFICACIÓN	47
CAPÍTULO V. OBJETIVOS	49
5.1 Objetivo general	
5.2 Objetivos específicos	
CAPÍTULO VI. METODOLOGÍA	
6.1 Método de muestreo	51
6.2 Selección de los puntos a muestrear	51
6.3 Descripción del equipo para monitorear los niveles de partículas suspendidas	53
6.4 Materiales y equipo	54
6.5 Muestreo en el poblado Javier Rojo Gómez y Pucté	55
6.6 Análisis de resultados	56
CAPÍTULO VII. RESULTADOS	67
CAPÍTULO VIII. DISCUSIÓN	81
CAPÍTULO IX. CONCLUSIÓN	85
BIBLIOGRAFIA	87
ANEXOS	91

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Toda actividad productiva industrial genera residuos ya sea al aire, agua o suelo, que deben ser tratados para minimizar su impacto a la salud humana o al medio ambiente. Este problema se ha ido agravando desde que inició la revolución industrial pues comenzaron las grandes industrias y el problema fue abordado desde diversas visiones. Desde hace ya varios años se han buscado soluciones a los problemas existentes de contaminación en el aire causados por las actividades del ser humano (Esparza, 2006).

Estas actividades han generado diversos problemas ambientales por lo que, en años recientes se han realizado Estudios acerca de las emisiones hechas por estas industrias al medio ambiente (Esparza, 2006).

La industria azucarera se ha venido desarrollando en México desde la conquista española, y ha sido una de las prácticas ininterrumpidas de mayor tradición y trascendencia en el desarrollo histórico que tiene el país. De este modo la participación que tiene esta industria dentro de la economía nacional es de gran importancia y aportación ya que se genera un bien de consumo popular y a la vez se generan empleos productivos (Figueroa, 2003).

Siendo de impacto social muy importante, esta industria se ha desarrollado en diferentes puntos del país con la ubicación de industrias azucareras en 15 estados, que conforman 61 ingenios azucareros en el país, de los cuales se encuentran operando 57, por lo que el cultivo se genera en diversos, climas, suelos y condiciones culturales (Figueroa, 2003).

De esta actividad, México ocupa el sexto lugar en el mundo en la producción de caña de azúcar y es el séptimo en su consumo. Obteniendo de esta producción dos tipos de azúcar, azúcar refinada y azúcar estándar (Figueroa, 2003).

El Ingenio San Rafael de Pucté se localiza en el municipio de Othón Pompeyo Blanco, produciendo azúcar estándar, misma que se cultiva en los poblados aledaños a la industria azucarera.

El cultivo que se encuentra en el estado de Quintana Roo, se sitúa entre los 37° de latitud norte y los 31° de latitud sur. Se localiza en las costas del Océano Pacífico y del Golfo de México (Figueroa, 2003).

La quema de caña de azúcar antes y durante la producción de caña es una práctica que se genera en todas las regiones productoras de ésta, lo cual genera grandes emisiones a la atmósfera, principalmente partículas totales suspendidas (PTS) y monóxido de carbono, y dependiendo de las condiciones locales y técnicas de quema esta actividad, puede tener incidencia en la salud humana (Figueroa, 2003).

Por lo anteriormente expuesto, surge la iniciativa para desarrollar este proyecto en el cual se analizarán los niveles promedio de partículas suspendidas menores a 10 Micras en el aire en dos poblados cercanos al Ingenio de San Rafael de Pucté, durante los dos periodos de quema de caña, la temporada de *zafra* y *no zafra*. La primera inicia en el mes de noviembre y se prolonga hasta el mes de mayo y consiste en la quema de terrenos, corte de caña y la molienda de la caña de azúcar generando grandes emisiones de PM_{10} . Mientras que en la temporada de *no zafra*, que va de junio a octubre, se emiten pequeñas cantidades de partículas, puesto que la industria no se concentra en la producción de caña y eso provoca la disminución de las emisiones. Considerando las actividades del Ingenio San Rafael de Pucté se generan grandes emisiones de contaminantes a la atmósfera, provocando afectación directa a la población.

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES

2.1 Contaminación del aire

Los humanos llevan a cabo su vida en la tropósfera, la zona más cercana al nivel del suelo de la atmósfera que se encuentra entre el nivel del mar y hasta 10km de altura. En esta región es donde la mayoría de las personas realizan actividades.

Respirar aire limpio y sin riesgos para la salud es un derecho de todo ser vivo. Sin embargo, la contaminación del aire presenta muertes prematuras, por ejemplo en España a causa de la contaminación del aire fallecen 3 veces más personas que por los accidentes de tráfico y casi 100 veces más que por accidente laboral. Se considera un problema de salud en este país demostrando problema por la contaminación (Ecologistas, 2006).

Un contaminante se considera por el efecto negativo que provoca en el ambiente. Los contaminantes pueden tener impactos múltiples sobre la salud de las personas y en la naturaleza, causando enfermedades y en ocasiones muertes prematuras, y afectando negativamente a los ecosistemas provocando alteraciones.

Los contaminantes en el aire pueden presentarse en forma líquida, gaseosa y sólida, algunos se encuentran de manera natural pero en cantidades muy pequeñas. Asimismo, pueden generarse de manera natural, aunque la mayoría llega a la atmosfera por actividades antropogénicas, es decir actividades del hombre (SEMARNAT, 2013).

Los contaminantes se agrupan de acuerdo con tres taxonomías de acuerdo a su emisión: los contaminantes criterio clasifican a seis contaminantes muy comunes, el bióxido de azufre (SO₂), bióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado (PM), plomo (Pb), monóxido de carbono (CO) y ozono (O₃) (SEMARNAT, 2013).

Un contaminante primario es aquel que se genera como resultado de la combustión de autos, en los hogares e industrias, y sustancias emitidas por los procesos naturales (volcanes, incendios, etc.), mientras que los contaminantes secundarios se forman en la atmósfera por la reacción con otras sustancias (SEMARNAT, 2013).

2.1.1 Fuentes de contaminación

La contaminación del aire es emitida por fuentes de contaminación que se clasifican en cuatro grupos:

a) Fuentes puntuales.

Las fuentes puntuales conocidas también como estacionarias o fijas, reciben tal nombre por encontrarse en un punto fijo. En las ciudades industrializadas y semi-industrializadas, existe una gran cantidad de fuentes estacionarias que contaminan el aire como: las plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo, fábricas, etc., que emiten uno o varios contaminantes criterio, además de contaminantes peligrosos.

b) Fuentes móviles

Las fuentes móviles de contaminación son los automóviles, autobuses, camiones y aviones, etc; todo medio móvil que emita algún contaminante. De éstos, los automóviles son la principal fuente de emisión de contaminación dado que emiten grandes cantidades de monóxido de carbono (CO).

c) Fuentes de área

Las fuentes de área emiten contaminantes en pequeñas cantidades, aun así, en conjunto pueden realizar grandes cambios a la calidad del aire. Entre ellos se encuentran la madera (el uso de madera para cocinar), imprentas, tintorerías, etc.

d) Fuentes naturales

Las fuentes naturales emiten contaminantes a la atmósfera, las fuentes principales son los volcanes, incendios forestales, y la erosión eólica (INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2009).

2.1.2 Exposición a contaminantes atmosféricos

La afectación de un contaminante varía de acuerdo a la concentración que se emita, a este factor se le suma la frecuencia y la duración de exposición a la contaminación de

una persona. Es decir, el nivel de afectación de un contaminante se encuentra como función de su tipo de su concentración, el lugar, la hora y día de la semana, la temperatura y el estado del tiempo, entre otros factores (INECC, 2010).

Del mismo modo el riesgo de un individuo a algún padecimiento está determinado por diversos factores que incluyen: la predisposición genética, edad, estado nutricional, presencia y severidad de condiciones cardíacas y respiratorias, y el uso de medicamentos; así como la actividad y el lugar de trabajo. En general, la población con mayor riesgo a la exposición de contaminantes está constituida por los niños menores de 5 años, las personas de la tercera edad (mayores de 65 años), las personas con enfermedades cardíacas y respiratorias, y los asmáticos (INECC, 2010).

La exposición a los contaminantes se puede clasificar en *aguda* y *crónica*, de acuerdo al período de exposición y a la concentración de contaminantes. La exposición aguda refiere a una exposición a concentraciones elevadas de contaminantes y que, a corto plazo, puede ocasionar diferentes daños al cuerpo humano. Por otra parte, la exposición crónica involucra exposiciones de largo plazo a concentraciones relativamente bajas de contaminantes. En estas circunstancias, los contaminantes van ocasionando daños a la salud humana como respuesta a factores acumulados y recurrentes (INECC, 2010).

Los efectos más estudiados en relación con la exposición aguda a los contaminantes atmosféricos son los cambios en la función pulmonar, el aumento de síntomas respiratorios y la mortalidad.

2.2 Partículas suspendidas

El material particulado forma una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición, lo cual depende de su lugar de origen. El tamaño del material particulado varía desde 0.005 hasta 100 micras (10^{-6}) de diámetro aerodinámico, (INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2009).

Las partículas pueden tener origen natural incluyendo tormentas de arena, actividad volcánica, incendios forestales, suelos erosionados, plantas y flores, microorganismos, desperdicios de animales y, en áreas costeras (Rojas, 2007), pero también por origen antropogénico, desde la quema de combustibles hasta la fertilización de los campos. Las

partículas emitidas directamente de una fuente son consideradas partículas primarias, mientras que las partículas secundarias son aquellas que se forman en la atmósfera al reaccionar con otras sustancias. Al respecto, existe una amplia variedad de sustancias que componen las partículas suspendidas, tales sustancias pueden ir desde material que ya se encuentra en la atmósfera, hasta material líquido finamente particulado suspendido en el aire (INECC, 2005).

El estudio del material particulado y la regulación ambiental se inició a partir de las partículas suspendidas totales (PST), concentrándose en las partículas menores de 100 μm de diámetro aerodinámico. Posteriormente, la atención se centró en las partículas PM_{10} , y actualmente, en las partículas finas y ultrafinas, $\text{PM}_{2.5}$ y 1 μm PM respectivamente (INECC, 2005). En México, la norma que regula los niveles de PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ entró en vigor en 1994 y fue modificada en 2005 (NOM-025-SSA-1993).

En la NOM-025-SSA-1993 se define lo siguiente “La toxicidad de las partículas está determinada por sus características físicas y químicas. El tamaño, que se mide en términos de diámetro aerodinámico, es un parámetro importante para caracterizar su comportamiento, ya que de éste depende la capacidad de penetración y retención en diversas regiones de las vías aéreas respiratorias; asimismo, el tamaño de la partícula también determina su tiempo de residencia en la atmósfera y por ende la concentración a la que puede estar expuesta la población” (NOM-025-SSA-1993).

2.2.1 Tamaño de las partículas

Se define como PM_{10} a las partículas con un diámetro aerodinámico igual o menor a 10 micrómetros, $\text{PM}_{2.5}$ a las partículas con un diámetro aerodinámico igual o menor a 2.5 micrómetros, mientras que para las partículas suspendidas totales PST son todas aquellas con un diámetro aerodinámico menor aproximadamente a 50 micrómetros, para las cuales se establecen límites máximos permisibles en concentración y tiempo:

- PST : 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas.
- PM_{10} : 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual.
- $\text{PM}_{2.5}$: 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas, 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual. (NOM-025-SSA-1993).

El tamaño de las partículas interviene de manera importante hace de las propiedades diferentes comportamientos, es decir, mientras más pequeño sea el tamaño de la partícula más dañino es. De manera que las partículas pequeñas tiene el tamaño de moléculas gaseosas grandes, presentando así periodos de vida media en la atmósfera es decir, de días o semanas obteniendo así transformaciones, las cuales se presentan, ya sea quedándose en la atmósfera o bien desplazándose a largas distancias del emisor. Mientras que las partículas más gruesas se depositan más rápidamente sobre los cuerpos debido a su mayor peso, por lo que se encuentran en la atmósfera solo unos minutos u horas, por ende, presentan mayor variabilidad espacial dentro de una misma región (Rojas, 2007).

La velocidad de asentamiento de las partículas varía dependiendo a su densidad para lo que las partículas de $1\ \mu\text{m}$ tiene una velocidad de 4×10^{-3} cm/s mientras que el PM_{10} presenta una velocidad de 0.3 cm/s. Los valores indican el motivo por el cual existe una diferencia significativa en el comportamiento de las moléculas; en la Figura 1 se presenta la dispersión de partículas de diferente tipo de materiales (Wark, 1998).

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

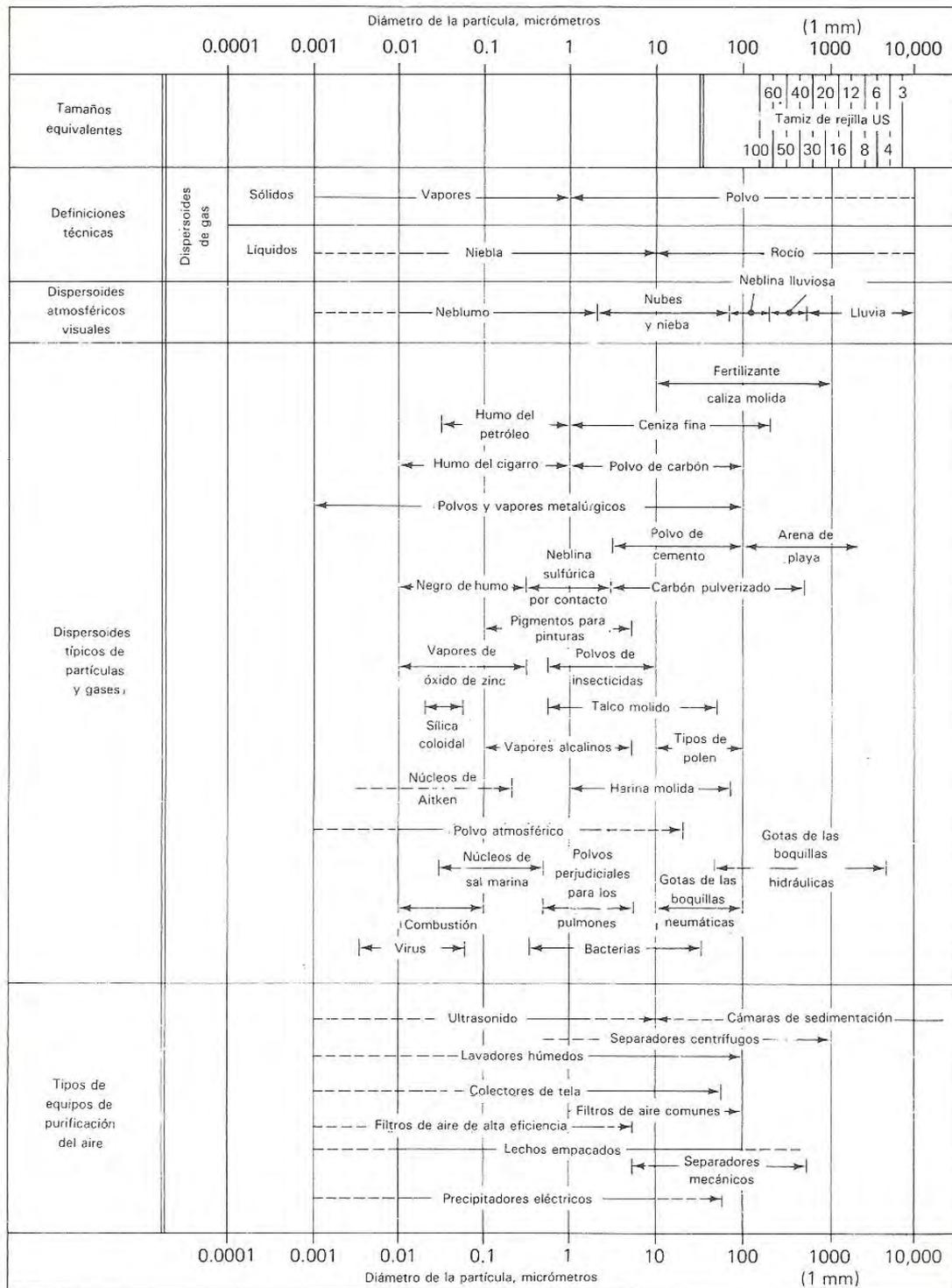


Figura 1. Características de las partículas. (Wark Kenneth, 1998)

2.2.1.1 Partículas menores a 10 micras (PM_{10})

Como se ha mencionado con anterioridad la composición de las partículas puede variar dependiendo de su origen y tamaño. A su vez, se encuentran constituidas principalmente por metales, compuestos orgánicos, material de origen biológico, iones, gases reactivos y la estructura misma de la partícula, normalmente formada por carbón. Las fracciones ultrafina y fina están formadas por una estructura básica de carbono, metales diversos, hidrocarburos y partículas secundarias (Rojas Bracho, 2007).

CUADRO 1. Características de las fracciones fina y gruesa de las partículas según su tamaño (Rojas, 2007).

	Fracción fina	Fracción gruesa
Estado físico	Gases	Sólidos, gotas
Mecanismo de formación	Reacción química, nucleación, coagulación, evaporación de niebla y gotas en las que los gases se han disuelto y reaccionado	Molienda, abrasión, evaporación de aerosoles, suspensión de polvos.

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

Continuacion del cuadro 1.

	Fraccion fina	Fraccion gruesa
Composición	Iones sulfato, nitrato, amonio, hidrógeno, carbón elemental, compuestos orgánicos; metales.	Polvos resuspendidos, cenizas por la combustión de carbón o aceites óxidos metálicos (Si, Al, Ti, Fe), carbonato de calcio, sal, polen, esporas, fragmentos de plantas o animales y residuos de llantas.
Solubilidad	Principalmente solubles e higroscópicas	Principalmente insolubles y no higroscópicas
Fuentes de emisión	Combustión de carbón, aceite, gasolina, diesel, madera; transformación atmosférica de NO _x , SO ₂ y compuestos orgánicos incluyendo especies biogénicas; procesos a altas temperaturas, etc.	Resuspensión de polvo industrial y suelo de caminos, fuentes biológicas, construcción y demolición, combustión de carbón y aceite, brisa marina.
Período de vida media	Días a semanas	Minutos a horas
Distancia recorrida	Cientos a miles de kilómetros	Menos de 10 kilómetros

Sin embargo son las partículas suspendidas menores o iguales a $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) las que forman parte de los contaminantes de mayor atención actual, ya que en muchas ciudades se han demostrado y documentado sus efectos nocivos sobre la salud, al relacionar el aumento en sus concentraciones con incrementos en el número de hospitalizaciones por enfermedades respiratorias y defunciones.

Las partículas se han estratificado en función de su tamaño y en su habilidad de penetración y depósito en los pulmones. Las partículas con diámetros mayores de $10\ \mu\text{m}$ se depositan casi exclusivamente en la nariz y garganta; sin embargo, las PM_{10} , pueden penetrar y depositarse a lo largo del tracto respiratorio. Así, las partículas finas llegan a los bronquiólos respiratorios y región alveolar, por ello se les conoce como partículas respirables. La fracción más gruesa se deposita por sedimentación, mientras que la fina, por difusión (Rojas, 2007).

El comportamiento de las concentraciones de las PM_{10} puede deberse al cambio de temperatura. En los meses fríos se tiene una menor capacidad dispersiva del contaminante en la atmósfera y facilita su acumulación. Mientras que en la temporada seca del año, ocurre una mayor resuspensión de PM del suelo. En contraparte, en los meses de la época de lluvias las PM son eliminadas por retención y arrastre en las gotas de lluvia, fenómenos que tienen un efecto de limpieza de las PM de la atmósfera (INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2009).

2.2.2 Índice metropolitano de la calidad del aire (IMECA)

El índice de la calidad de aire (IMECA) es una herramienta analítica que permite informar sobre los niveles de contaminación, es un indicador de las medidas precautorias que debe de tomar la población ante una contingencia atmosférica debida a la mala calidad del aire.

El cálculo del IMECA implica transformar e integrar los datos de concentraciones de un grupo de contaminantes, conocidos como contaminantes criterio, entre ellos PM_{10} , en valores independientes de las unidades de los contaminantes considerados (valores adimensionales), mismos que, por construcción, indican los valores de las normas de calidad del aire para un contaminante determinado cuando el IMECA toma el valor de 100 puntos. El cuadro siguiente presenta los valores límite de las normas consideradas para cada contaminante en México (SEMARNAT, 2008).

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

2.2.2.1 Valores normados para los contaminantes del aire en México

CUADRO 2. Valores límite de las normas consideradas en México (SEMARNAT, 2008).

CONTAMINANTE	VALORES LÍMITE			NORMAS OFICIALES MEXICANAS
	Exposición aguda	Exposición crónica		
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la población susceptible)	
Ozono (O₃)	0.11 ppm (1 hora) (216 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ninguna vez al año	-	Modificación a la NOM-020-SSA1-1993*
	0.08 ppm (8 horas)	Quinto máximo en un año		
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas) (12595 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1-1993**
Dióxido de azufre (SO₂)	0.13 ppm (24 horas) (341 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)	NOM-022-SSA1-1993**
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	0.21 ppm (1 hora) (395 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1-1993**
Partículas suspendidas totales (PST)	210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 Horas)	1 vez al año	-	Modificación a la NOM-025-SSA1-1993**

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

Continuación del cuadro 2.

CONTAMINANTE	VALORES LÍMITE			NORMAS OFICIALES MEXICANAS
	Exposición aguda		Exposición crónica	
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la población susceptible)	
Partículas con diámetro aerodinámico equivalente igual o menor a 10 micrómetros (PM₁₀); Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5})	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas.	1 vez al año	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (media aritmética anual) 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio aritmético anual)	Modificación a la NOM-025-SSA1-1993**

Cuando el IMECA de cualquier contaminante criterio rebasa los 100 puntos, significa que sus niveles son dañinos para la salud. En el siguiente cuadro se muestra la correspondencia entre las concentraciones de los contaminantes criterio, los valores que pueden tomar el IMECA y la calificación que se puede hacer de la calidad del aire con base en criterios de salud ambiental.

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

CUADRO 3. Concentraciones de contaminantes de acuerdo al valor que representa en IMECA (SEMARNAT, 2008).

Correspondencia entre concentración de contaminante y valores							
IMECA							
IMECA	Calidad del Aire	del PST (24hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM₁₀ (24hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO₂ (24hr) ppm	NO₂ (1hr) ppm	CO (8hr) ppm	O₃ (1hr) ppm
0 -100	Satisfactoria	260	150	0.13	0.21	11	0.11
101 – 200	No satisfactoria	546	350	0.35	0.66	22	0.23
201 – 300	Mala	627	420	0.56	1.1	31	0.35
301 – 500	Muy Mala	1000	600	1.00	2.0	50	0.60

Dado este problema de contaminación se han propuesto medidas preventivas para la concentración del contaminante criterio.

CUADRO 4. Efectos y medidas preventivas a exposición de IMECAs (SEMARNAT, 2008).

IMECA	Efectos sobre la salud	Medidas preventivas
0 a 100	No se presentan efectos negativos en la salud.	No es necesaria ninguna medida preventiva.
101 a 250	Irritación de la conjuntiva o dolor de cabeza. Se reactivan los síntomas de los enfermos del corazón o de los pulmones. Niños, ancianos y fumadores presentan trastornos del aparato respiratorio y cardiovascular.	Se debe evitar caminar en la calle por tiempos largos. No es recomendable realizar ejercicio físico al aire libre.

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

Continuación del cuadro 4.

	Efectos sobre la salud	Medidas preventivas
IMECA		
251 a 350	<p>Lactantes, ancianos y fumadores pueden presentar, además de las molestias anteriores, alteraciones inflamatorias en el sistema respiratorio.</p> <p>El resto de la población puede presentar trastornos funcionales en el aparato respiratorio y cardiovascular. Se debe evitar caminar en la calle por tiempos largos.</p>	<p>No realizar ejercicio al aire libre.</p> <p>No fumar.</p> <p>Evitar cambios bruscos de temperatura.</p> <p>Disminuir el contacto con enfermos de las vías respiratorias.</p>
Más de 350	<p>Los enfermos crónicos de los pulmones o del corazón reactivan sus padecimientos de base.</p> <p>La población en general pueden presentar alteraciones inflamatorias en su aparato respiratorio.</p>	<p>Ingestión de jugos de frutas.</p> <p>Atención médica oportuna si se detecta alguna alteración.</p> <p>Mantenerse atento a las recomendaciones que emita el Sistema de Salud.</p>

2.3 Efectos en la salud

El término *partículas en suspensión* (o *partículas suspendidas*) refiere a las sustancias sólidas o líquidas, orgánicas o inorgánicas, dispersas en el aire, procedentes de fuentes

naturales y artificiales. El tamaño de las partículas en suspensión en la atmósfera varía en cuatro órdenes de magnitud (cuatro ceros), desde unos pocos nanómetros a decenas de micrómetros.

Mientras más pequeñas sean las partículas, con mayor facilidad ingresan a los pulmones debido a la respiración, generando posibles efectos tóxicos. Las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ son partículas suspendidas que miden $10\ \mu$ y $2.5\ \mu$ respectivamente.

Dadas sus características, las partículas suspendidas PM_{10} pueden entrar directamente al aparato respiratorio, mientras que las $PM_{2.5}$ pueden llegar a la región alveolar. Las partículas suspendidas pueden ocasionar severos problemas de salud e intervenir en uno o más mecanismos del aparato respiratorio, asimismo puede funcionar como transportador de sustancias tóxicas o adheridas a la partícula (INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2009). Mientras más profundo viajen las partículas en el cuerpo, más daño causan; particularmente, el respirar con la boca permite a las partículas ingresar más profundamente a los pulmones, de igual modo el ejercicio provoca viajar con mayor profundidad (Alduate, 2006).

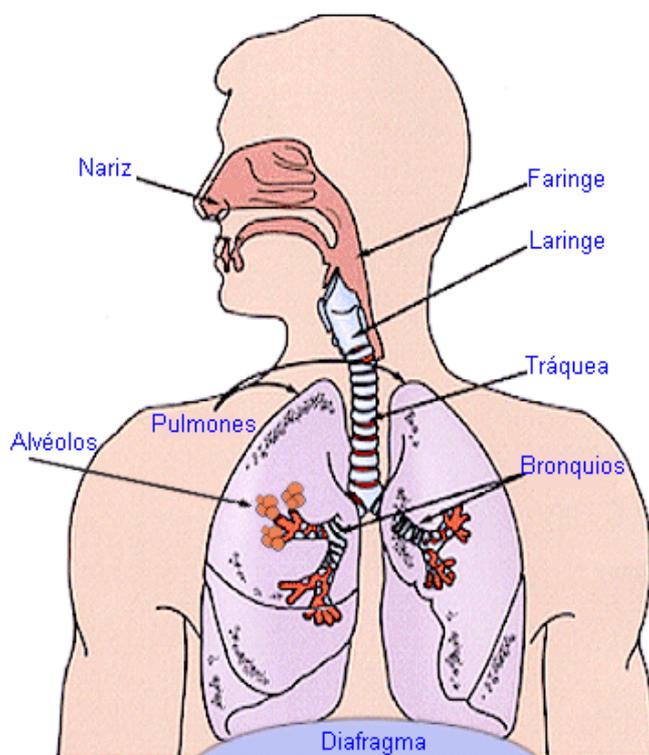


FIGURA 2. Aparato respiratorio

(<http://bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com/biologia/sistemas-y-aparatos-del-cuerpo-humano/sistema-respiratorio/>)

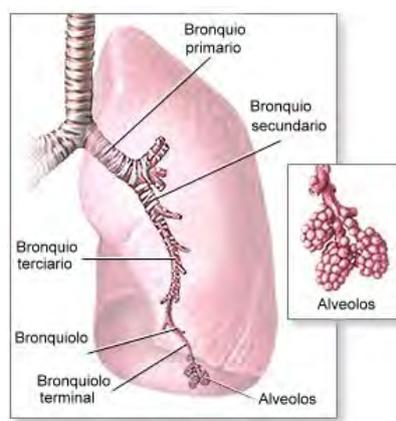


FIGURA 3. Ubicación de alveolos
(<http://www.cepvi.com/medicina/fisiologia/respiratorio.shtml>)

Los efectos de las partículas suspendidas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) sobre la salud tanto a corto como a largo plazo, se extienden por diferentes afecciones ocasionando desde irritación de ojos y vías respiratorias, infecciones, congestión nasal, sinusitis, alergias, resfrío, tos, ronquera, faringitis amigdalitis, laringitis, bronquitis, neumonía, asma y hasta cáncer pulmonar, dolencias cardiovasculares y muertes prematuras entre otras (Alduate, 2006).

Para conocer la relación existente entre la exposición a un agente o condición y algún efecto en el organismo existen diversos tipos de estudios. Entre ellos, destacan los estudios toxicológicos que involucran la evaluación de la relación dosis-respuesta de un organismo determinado en condiciones controladas, exponiéndolo a diferentes dosis del agente estudiado. Los estudios evalúan cómo es la exposición a algún agente ambiental, cómo pudiera ser la contaminación atmosférica y si se asocia con padecimientos, síntomas o con muertes prematuras de individuos susceptibles (Rojas, 2007).

En México, la Secretaría de Salud (SSA) es la dependencia encargada del establecimiento de normas para la calidad del aire. La Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993 establece los límites máximos permisibles para PM_{10} , como medida de protección a la salud.

2.4 Estudios realizados sobre los efectos de la quema de caña

En el sureste de Brasil, se analizó la influencia de las emisiones que realiza la quema de caña de azúcar durante casi un año, desde abril de 1997 hasta marzo de 1998, en donde se recogieron partículas finas y partículas gruesas al mismo tiempo que se examinaron registros diarios de niños menores a 13 y ancianos mayores a 63 que se registraron en el hospital a causa de enfermedades respiratorias (José, 2006).

En esta zona del país, la región de Piracicaba, ubicada en el estado de São Paulo, es especialmente interesante debido a que el ambiente de esta región recibe las emisiones, no sólo de fuentes industriales y urbanas, sino también y sobre todo de la quema de la caña de azúcar. En dicho estudio, se investigó el efecto de la PM_{10} generado a partir de la quema de caña de azúcar, de acuerdo a las hospitalizaciones respiratorias de niños y ancianos (José, 2006).

En el momento del estudio, el 26% de la población Piracicaba eran niños y adolescentes menores de 13 años de edad, y 7% eran mayores de 64 años de edad. Hubo 673 ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias en niños y 275 entre los ancianos. El promedio diario de niños hospitalizados por enfermedades respiratorias fue más del doble que el promedio diario de las personas mayores, aunque la población infantil era casi cuatro veces la población de edad avanzada (José, 2006).

Las emisiones por la quema de la caña de azúcar fue el factor que presentó mayor asociación con la hospitalización de niños y ancianos. Los resultados mostraron el impacto negativo de las emisiones de la quema de caña de azúcar en la salud de la población (José, 2006).

Alrededor de Piracicaba, el incremento porcentual de niños hospitalizados por enfermedades respiratorias en relación con los niveles medios de PM_{10} , $PM_{2,5}$ fue de dos a tres veces mayor en la temporada de quema de caña de azúcar, poniendo en peligro la salud de esta población. Entre los ancianos, no se observó el mismo patrón de efectos durante la quema. Los resultados de este Estudio sugieren fuertemente que los meses del año en que se quema la caña de azúcar son los más peligrosos para los habitantes de la región (José, 2006).

Asimismo, los resultados mostraron que la contaminación del aire por la quema de biomasa provoca daños en el sistema respiratorio, dando lugar a un aumento en las hospitalizaciones respiratorias. Este efecto es mayor para los niños (0 – 6 años de edad) y las personas de edad adulta, y es similar al observado en las zonas urbanas refiriendo a los efectos en la salud de la población debido a la exposición a los consumidores industriales y de vehículos que emiten contaminantes al aire (José, 2006).

Otro Estudio (Alves de Oliveira, 2011) se realizó con la finalidad de evaluar la ingesta y el riesgo toxicológico en los niños y adolescentes, causado por la exposición a PM_{2.5}. Se llevó a cabo en el año 2011 por Oliveira et al. Quiénes evaluaron tanto las características físicas y químicas de contaminantes del aire en las zonas de alta quema de biomasa como la combustión de combustibles fósiles en Brasil.

El área estudiada fue el municipio de Tangará de Sierra, situado en la latitud 14 ° 37 '10" a sur y longitud 57 ° 29 '09" al oeste del meridiano de Greenwich, en el Brasil subecuatorial Amazon y el estado de Mato Grosso, el Tangará de Sierra Región. Como parte del análisis de la información, se llevaron a cabo un evaluación de riesgos de PM_{2.5} en el Tangara de Sierra, aplicando la metodología de Protección Ambiental del Estado, y una evaluación de la exposición y caracterización del riesgo. Esta última se realizó con un cuestionario semi-estructurado dirigido a padres de familia con el objetivo de obtener información sobre la salud de su familia, indicadores socioeconómicos e información sobre exposición al humo. De igual manera, se aplicó un segundo cuestionario internacionalmente estandarizado y validado por el Estudio Internacional de Asma y Alergias en la Infancia (ISAAC), donde un niño (6-12 años) era clasificado como asmático si obtenía una calificación de 5 o más puntos, y un adolescente (13 + años) se clasificó como asmático si su puntuación ascendía a 6 o más en el cuestionario (Alves de Oliveira, 2011).

La muestra inicial del estudio fue 234 niños, sin embargo, sólo fueron incluidos aquellos niños que respondieron al cuestionario semi-estructurado. Así, la muestra final consistió en una muestra aleatoria de 221 niños de 6 a 14 años de edad. Por su parte, los adolescentes eran estudiantes de una escuela pública que sirve a cuatro distritos del área que presentan una diversidad socio-demográfica y condiciones de salud representativas de la ciudad donde se llevó a cabo el Estudio. Aparte de la quema de biomasa, la escuela no estaba cerca de cualquier fuente de contaminación (Alves de Oliveira, 2011).

La evaluación del riesgo de $PM_{2.5}$ se realizó en dos escenarios de exposición, de acuerdo a la estacionalidad de la región. Los escenarios de exposición se definieron de acuerdo a los niveles promedio de $PM_{2.5}$ y a la medida diaria relativa de humedad y precipitación. Se definieron dos escenarios de exposición: el periodo Julio-octubre - la condición seca, y el periodo Noviembre-Diciembre-condiciones de lluvia. El período de lluvias se produce entre noviembre - mayo, cuando la precipitación y humedad alcanzaron valores promedios de 10 mm / d (SD 17,7) y 83% (SD 8,3), respectivamente (Alves de Oliveira, 2011).

Los resultados obtenidos fueron evaluados por escenario: los niños asmáticos varones menores de 8 años, a una velocidad normal del cuerpo, tenían el cociente de riesgo más alto entre los subgrupos. La dosis media de potencial general de $PM_{2.5}$ fue de 1,95 mg / kg/día (IC del 95%: 1,62 a 2,27) durante el escenario de secas y de 0,32 g / kg día (IC del 95%: 0,29 hasta 0,34) en el escenario de lluvias (Alves de Oliveira, 2011).

Durante la estación seca, los niños y adolescentes mostraron un riesgo toxicológico para $PM_{2.5}$ de 2,07 mg / kg día (IC del 95%: 1,85 a 2 .30) (Alves de Oliveira, 2011).

Otro estudio se realizó en el año 2007 en la ciudad de Palmira (Valle de Cuaca), Colombia, teniendo como objetivo analizar el impacto de la quema de caña de azúcar sobre la salud de la población vecina, así como también: i) Estimar una aproximación a la magnitud de emisiones generadas por las tres fuentes (fijas, móviles y de área), ii) Establecer la asociación entre dichas emisiones y la quema de la caña de azúcar y, iii) Determinar la relación entre las fluctuaciones en la concentración de PM_{10} y la morbilidad por IRA (Álvarez, 2007) .

Los datos usados en este estudio se dividieron en tres categorías: los datos ambientales, las fuentes de emisión y la información de morbilidad (Álvarez, 2007).

Los datos ambientales fueron suministrados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Estos incluyen información de una estación de monitoreo de aire, la cual mide dirección y velocidad del viento, calidad del aire, humedad relativa y temperatura (Álvarez, 2007).

Las emisiones provienen de los tres tipos de fuentes. En el caso de la *fuentes de área* la quema de la caña de azúcar es programada mensualmente por cada uno de los ingenios

azucareros. Esta programación es enviada a ASOCAÑA, quien agrega la información y la envía a la CVC (Álvarez, 2007).

La información de morbilidad empleada en esta investigación se recopiló de las consultas diarias por IRA en el 2004 en la ciudad de Palmira. Esta información fue suministrada por el Hospital San Vicente De Paúl de Palmira (HSVPP) (Álvarez, 2007).

Para la metodología se dispuso lo siguiente: con el fin de establecer la relación entre la concentración máxima diaria de PM_{10} y las tres fuentes de emisión existentes en el municipio de Palmira, se construye una función lineal que incluye como variable dependiente el PM_{10} máximo diario y como variables independientes el número de hectáreas quemadas diariamente, el consumo de energía eléctrica industrial y el número de galones de gasolina extra y corriente vendidos en este mismo municipio (Álvarez, 2007).

Para medir el impacto de la concentración del contaminante en la morbilidad por IRA, se emplea una función concentración-respuesta que relaciona la concentración máxima diaria de PM_{10} y el número de admisiones hospitalarias diarias por IRA (NADIRA). Así, la estimación de la función concentración-respuesta, se emplea un modelo Poisson, ya que la variable dependiente es una variable de conteo (Álvarez, 2007).

Los resultados obtenidos indicaron que la población de Palmira se está viendo afectada por la contaminación del aire. Ello se refleja en las numerosas consultas médicas efectuadas por IRA y los resultados empíricos de la investigación que corroboran una relación positiva y significativa entre el PM_{10} y la morbilidad por esta misma causa. Los grupos de la población más afectados son los niños y los adultos mayores de 60 años.

En otras palabras, los niños y niñas de Palmira se enferman de IRA debido a la quema de la caña de azúcar. Asimismo, se halla que la principal fuente de contaminación atmosférica es la quema de la caña de azúcar, emitiendo el 50 por ciento del total de la contaminación por PM_{10} (Álvarez, 2007).

2.5 Estudios de contaminación en el aire por partículas en México.

En México se han realizado investigaciones de contaminación al aire por partículas menores a 10 micras, en ellas se toma en cuenta las fuentes de emisión y la cantidad de concentración de diferentes contaminantes.

En el 2003 se publicó un estudio realizado por el INE y otras empresas en Tuxpan Veracruz, examinando siete ciudades en donde se evaluaron las emisiones generadas por la planta termoeléctrica y los posibles efectos de los contaminantes a la salud. En dicho estudio se destacó que el uso de hidrocarburos para generar energía en la planta produce grandes cantidades de PM_{10} debido a la liberación de gases de desecho, producto del enorme consumo de hidrocarburos pesados con alto contenido de azufre, afectando seriamente la salud de la población.

El modelo utilizado en esta investigación se basó en la dispersión y transporte de emisiones en el cual se estimó el promedio de la concentración anual de los contaminantes SO_2 , partículas primarias (PM_{10}) y partículas secundarias (SO_4 , NO_3 y HNO_3), en los siete poblados de mayor tamaño (con más de 10 mil habitantes) dentro de la región modelada. Los resultados de la investigación mostraron valores promedios de PM_{10} (objeto de nuestro estudio) bajos con respecto a la norma ($50\ \mu g/m^3$), sin embargo, respecto a otros contaminantes se encontró que sus promedios rebasaron los límites máximos permisibles.

De igual manera, en el año 2005 el INE publicó un proyecto realizado de 1997 al 2005 enfocado únicamente a partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$, considerando ocho ciudades del país, la ZMVM, la ZMG, la ZMVT, Puebla, la ZMM, Ciudad Juárez, Tijuana, y Mexicali para determinar los incrementos en los promedios PM_{10} al año y caracterizar las zonas donde se cumple la normatividad. Dicho Estudio se llevó a cabo ya que se tenía evidencia de una asociación significativa entre las emisiones y el incremento de las enfermedades respiratorias (INECC, 2005).

En cinco de las ocho ciudades se realizaron monitoreos con equipo automático, mientras que en las tres ciudades restantes el monitoreo se realizó con equipo manual, teniendo en cuenta que este factor podría causar efectos al comparar los resultados de las mediciones de las ciudades (INECC, 2005).

Como resultado del estudio se obtuvo que en casi todas las ciudades se incumple la norma anual de PM_{10} , considerando que solamente Puebla la cumplió en el 2005 y que año con año ha decrementado su emisión de partículas. Las ciudades más contaminadas fueron la ZMVT (Toluca) y ZMM (Monterrey) que además de cumplir con la norma, mostraron tendencia creciente en su concentración promedio anual, mientras que en Mexicali fue observada como la ciudad más contaminada para el año 2005, y aunque sus valores fueron muy altos en su medición no se considera más contaminada que ZMVT ya que el monitoreo automático causa variación y al ajustar los datos queda en el cuarto lugar en la lista de estas ocho ciudades evaluadas (INECC, 2005).

En el 2006 se realizó un estudio para obtener un inventario en el que se evaluaron contaminantes criterio en los 46 municipios en el estado de Guanajuato, así como para identificar la forma en que cada sector productivo contribuye en la cantidad de cada uno de los contaminantes y en las fuentes emisoras de éstos.

Este inventario fue realizado para el mejoramiento de la calidad del aire. En éste se midieron las estimaciones en toneladas de emisión de partículas menores a $10\mu m$ (PM_{10}), bióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOX) y compuestos orgánicos totales (COT) que se generaron en los 46 municipios del estado de Guanajuato durante el año 2006 (Kato, 2006).

Los cálculos para estimar las emisiones se realizaron con base en la metodología de estimación que recomienda la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y que se encuentra descrita en los manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México. Fue necesario determinar y recopilar todos los datos relacionados con las fuentes de emisiones de contaminantes y su actividad (Kato, 2006).

El inventario estuvo integrado por fuentes puntuales (industrias), fuentes de área (comercios, servicios, casas habitación), fuentes móviles (vehículos particulares, taxis, camiones de carga, autobuses, etc.) y fuentes naturales (erosión de suelo y emisiones biogénicas) (Kato, 2006).

De acuerdo al estudio realizado en Guanajuato en el 2006, la emisión de contaminantes clasificando por sector corresponde el 71.8% corresponde al sector transporte, el 10.30%, a la vegetación y suelo; el 9,3%, a la industria y el 8.6%, a las fuentes de área, obteniendo PM_{10} del 2.1% del total (Kato, 2006).

De esta manera, el sector de las fuentes de área es la principal fuente generadora de partículas PM₁₀, contribuyendo con el 80.9%. De acuerdo a las fuentes de emisión evaluadas, la generación de partículas PM₁₀ se debe principalmente a los caminos sin pavimentar, dado que esta fuente aporta el 73.5% respecto del total emitido, le siguen la generación de energía eléctrica con el 8.0%, la industria del petróleo y petroquímica con el 7.5%, el sector transporte con el 2.5%, las ladrilleras con el 2.5% y el restante 5.9% lo aportan fuentes diversas (Kato, 2006).

Resultados por tipo de fuente y sector:

- Emisiones de fuentes fijas por tipo de contaminante

La contribución de PM₁₀ por fuentes puntuales se concentra principalmente en la generación de energía eléctrica y en las industrias del petróleo y petroquímica (Kato, 2006).

- Inventario de fuentes de área

Los compuestos orgánicos totales son el contaminante que más aportan las fuentes de área, representado el 63.5% del total, seguido de las emisiones de partículas PM₁₀ con el 19.3%, 13.3% de monóxido de carbono, 2.3% de óxidos de nitrógeno y 1.6% de dióxido de azufre. Como se ha mencionado, las fuentes de área son las que más contribuyen a la emisión de partículas PM₁₀, representando el 80.9% del total. La que la principal contribución la aportan son los caminos sin pavimentar con el 90.9%, la quema de esquileo, con el 4.8%; las ladrilleras, con el 3.4%; y el resto de las fuentes aportan el 0.9% (Kato, 2006).

- Emisiones anuales de fuentes móviles

De las emisiones totales de contaminantes estimadas por las fuentes móviles en 2006, el 90.7% corresponde al monóxido de carbono, 5.5% a compuestos orgánicos totales, 3.64% a óxidos de nitrógeno, 0.1% a partículas menores a 10 micras y 0.1% a óxidos de azufre. La principal contribución a PM₁₀ corresponde a los camiones de carga a diésel mayores a 3.5 toneladas, con el 41.4% de las emisiones; seguido de los autobuses a diésel, con el 19.7%; los pick ups, con el 11.4%; y los autos particulares, con el 10.3% (Kato, 2006).

- Fuentes naturales

Para los incendios forestales el monóxido de carbono es emitido en mayor proporción por quemaduras no controladas, mismas que contribuyen con el 84%, seguido de las partículas PM₁₀, con el 8.8% y; finalmente, los compuestos orgánicos totales, con el 7.3% (Kato, 2006).

2.6 Industria azucarera

La caña de azúcar representa el cultivo más importante en la producción de endulzantes en el mundo. El área total en producción es de 19.24 millones de hectáreas distribuidos en Asia 42.5 %, América 47.7% y en África y Oceanía cultivan 7.4% y 2.4 %, además que esta genera subproductos como el etanol para uso energético (Diaz, 2002).

La caña ha sido uno de los productos de mayor importancia para el desarrollo comercial del continente americano y europeo. El azúcar se consume en todo el mundo, puesto que es una de las principales fuentes de calorías en las dietas de todos los países. En el continente americano se produce la mayor parte de este cultivo siendo principalmente América Central el rubro agroindustrial más estable. Al igual que en el resto de América, es un cultivo de suma importancia ya que genera empleos directos e indirectos (Diaz, 2002).

Siendo de impacto social muy importante, esta industria se ha desarrollado en diferentes puntos de México, en América del Norte, con la ubicación de las industrias azucareras en 15 estados, que conforman 61 ingenios azucareros en el país, de los cuales se encuentran operando 57, por lo que el cultivo se genera en diversos, climas, suelos y condiciones culturales (Figuroa, 2003) .

Características de las regiones cañeras en México:

La quema de caña antes y después de la producción de azúcar es una práctica agrícola que se genera en todo el país, que van generando emisiones a la atmósfera de PST y monóxido de carbono principalmente, que pueden tener incidencia en la salud humana.

La caña de nombre científico *Saccharum officinarum L.*, o también conocida en otros lugares como caña de azúcar, caña de castilla, caña dulce, cañamiel, etc. es aprovechada para producir diversos productos como azúcar, fruta, forraje y para la producción de

piloncillo o panela. La caña de azúcar se produce en diversos climas, suelos y condiciones, en 14 regiones y en 15 entidades federativas del país (Figueroa, 2003).

El cultivo que se encuentra en el Estado de Quintana Roo, se sitúa entre los 37° de latitud norte y los 31° de latitud sur, encontrándose en el sur del estado y comprende una franja transversal sobre el paralelo de los 19° de latitud norte (Figueroa, 2003).



FIGURA 4. Estados productores de caña de azúcar en México (Figueroa, 2003)

Las zonas cañeras se encuentran en cuatro unidades de suelos predominantes, según la clasificación de FAO – UNESCO: Cambisol (55%), Vertisol (15%), Fluvisol (15%) y Luvisol (15%). En términos generales son suelos con pH ácidos o ligeramente ácidos, con bajo contenido de materia orgánica y fertilidad. Generalmente el drenaje superficial es bueno pero en el trópico húmedo se presentan problemas de inundaciones (Figueroa, 2003).

Relevancia Económica a nivel Nacional:

La agroindustria azucarera es una actividad de alto interés para la economía del país, por el valor de su producción, por el tipo de consumo que representa su producto final y por la generación de empleo que se produce (Figueroa, 2003).

A lado de otros productos como el café, naranja, plátano, alfalfa, coco y maguey, se considera como uno de los principales cultivos perennes del país. Los campos cañeros se encuentran distribuidos en 15 estados de la República: Campeche, Chiapas, Colima, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz. (Figueroa, 2003).

Durante los últimos 10 años, la producción de azúcar ha permanecido estable alrededor de 5.1 millones de toneladas en promedio durante el periodo. En la zafra 2011/12 la producción del edulcorante registró un volumen de 5.04 millones de toneladas, es decir, una reducción de 2.6% respecto a la zafra anterior (Ojeda, 2012)

De acuerdo con información del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, el pronóstico nacional de producción del endulzante en la zafra 2012/13 es de 5.6 millones de toneladas. Lo anterior indica un incremento de 12.3% a tasa anual respecto de la zafra previa. Dicho crecimiento obedece a un aumento de 2.3% de la superficie de caña, 5.5% en el rendimiento, y de 7.8% en la caña industrializable (toneladas de caña molida). De esta forma, de alcanzarse el volumen de azúcar pronosticado para la zafra 2012/13, se esperaría que ésta sea la segunda mejor producción del dulce desde la zafra 1969/70.

Entidades como Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí concentrarían 58.6% de la producción de azúcar para la zafra 2012/13 con un volumen estimado de 3.3 millones de toneladas (Ojeda, 2012).

En Quintana Roo el cultivo de caña de azúcar, es la actividad más importante en el sur del estado por los empleos y la derrama económica que genera. La producción es de 65 ton/ha de caña integral en verde (tallo + hojas) que equivalen a 20 ton de materia seca, cultivándose alrededor de 26,000 ha. En modalidad de riego más temporal, en el período 1980-2009, la superficie cosechada de caña de azúcar quintanarroense ha crecido de 5000 ha, con rendimientos superiores a 49 ton/ha; y a más de 22,000 ha promedio, con rendimientos superiores a 50 ton/ha promedio (López Villarreal, 2009).

Características del Ingenio San Rafael de Pucté

El ingenio Azucarero que se encuentra ubicado en el sur de Quintana Roo (Figura 4) recibe su materia prima de 2621 cañeros que son ejidatarios o pequeños propietarios de 22299 hectáreas. Emplea 410 personas de la región de forma permanente durante la época de zafra y 262 personas durante la época de reparación (López Villarreal, 2009).

El ingenio molió durante el periodo de zafra 2011 – 2012 un millón 587 mil 276 toneladas, recibiendo diariamente 550 camiones cargados con caña, teniendo como capacidad de molienda 10000 toneladas por día.



FIGURA 5. Ubicación de la industria azucarera en el poblado Javier Rojo Gómez en el mapa de la Republica Mexicana.

Proceso de producción de caña de azúcar

El azúcar puede obtenerse principalmente a partir de la caña de azúcar y la remolacha azucarera. Para su obtención se requiere un largo proceso, desde que la semilla de caña germina hasta que el azúcar se comercializa nacional o internacionalmente, como lo muestra la figura 6.

A continuación el proceso en la fábrica:

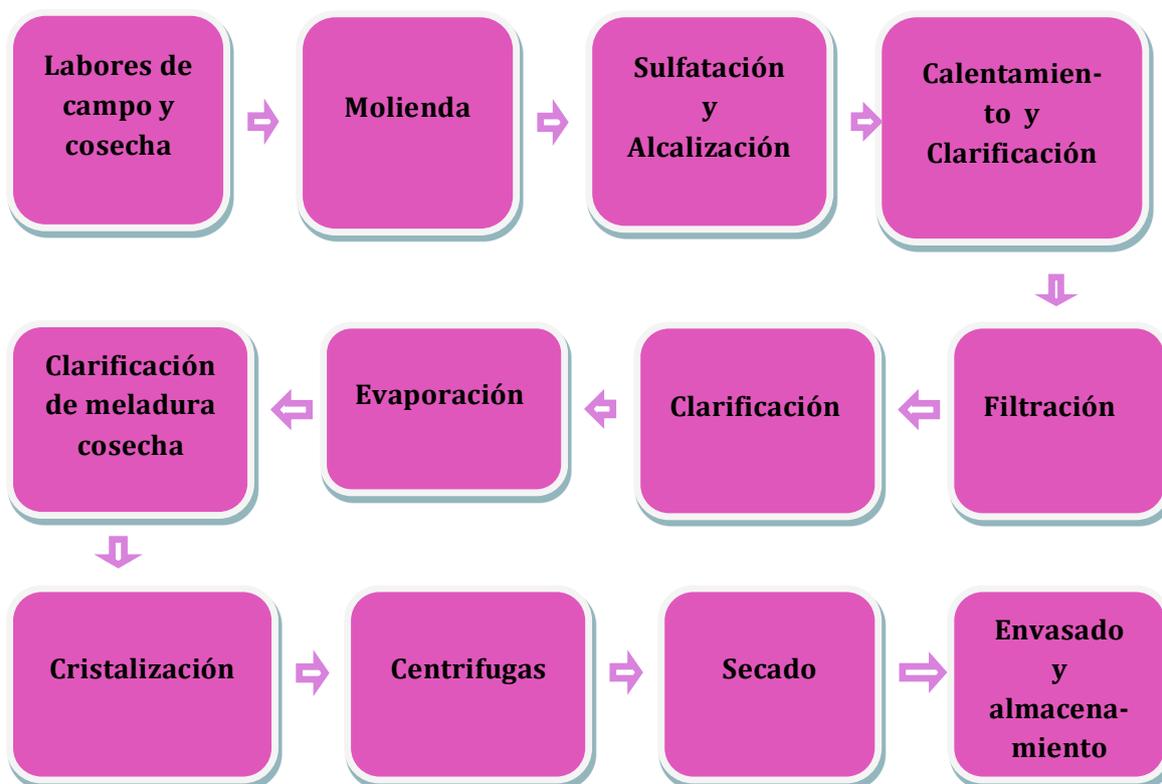


FIGURA 6. Proceso de producción de azúcar en el Ingenio San Rafael de Pucté (Elaboración propia)

- **Labores de campo y cosecha**

El proceso productivo se inicia con la adecuación del campo, (etapa previa de siembra de la caña) y el estudio del suelo, teniendo en cuenta la topografía del terreno, y de acuerdo a ella se localizan canales de riego, drenaje y vías de acceso. El suelo se rotura haciendo uso de maquinaria y equipos especializados, dejándolo en adecuadas condiciones para la siembra (López Villarreal, 2009).



FIGURA 7. Labor de campo

(http://w4.siap.gob.mx/sispro/IndModelos/SP_AG/cazucar/Transformacion_Ind.pdf).

El cultivo de la caña requiere agua en la cantidad y forma oportuna para alcanzar una buena producción. El riego se aplica hasta dos meses antes de la cosecha, la cual se realiza entre los 6 y 12 meses asegurando una excelente calidad de la caña.

El corte se realiza manual o mecánicamente, utilizando parámetros de calidad que disminuyen los porcentajes de materia extraña (López Villarreal, 2009).



FIGURA 8. Recolección mecánica de la caña

(http://w4.siap.gob.mx/sispro/IndModelos/SP_AG/cazucar/Transformacion_Ind.pdf).

- **Molienda**

La caña es preparada en los conductores por medio de dos juegos de cuchillas y una desfibradora que corta la caña para facilitar su molienda y extracción de jugos.



FIGURA 9. Proceso de molienda dentro de la industria.

La caña cortada y desfibrada es recibida por una banda (banda rápida), donde posteriormente es transportada al área de molinos y se extrae el jugo para la posterior elaboración de azúcar.

El jugo extraído es colocado y separado del bagacillo, posteriormente se reintegra el bagacillo sobrante para ser triturado de nuevo. El jugo es enviado a básculas, para cuantificar y conocer la cantidad a procesar (López Villarreal, 2009).

- **Sulfitación y alcalización**

El jugo, una vez pesado, es bombeado a las torres de sulfitación, en donde reaccionan con el agua del jugo para formar un ácido sulfuroso que reacciona con algunas sustancias que colorean al azúcar, esto es para eliminar gran parte del problema del color del azúcar. Finalmente se realiza la adición de cal por medio de una lechada para neutralizar su acidez y ayudar a la separación de los sólidos presentes (López Villarreal, 2009).

- **Calentamiento y clarificación**

Después de adicionar la cal; el jugo es bombeado a calentadores. A este se le adiciona floculante y se envía a los clarificadores donde se logra la separación de sólidos disueltos no azucarados floculados y posteriormente se precipitan por gravedad en forma de un lodo llamado cachaza. El jugo que se clarifica es limpio y brillante, a este jugo se le conoce como clarificado (López Villarreal, 2009).

- **Filtración**

Los lodos o cachaza contienen azúcar y para retirársela se someten a un proceso de filtración al vacío. El jugo extraído en los filtros se mezcla con cal y luego se envía a los clarificadores de jugo filtrado donde se le inyecta aire en pequeñas cantidades que hacen flotar los sólidos disueltos en el jugo, el cual se separa y posteriormente se mezcla con la cachaza que sale (López Villarreal, 2009).

- **Evaporación**

El jugo clarificado posee un contenido alto de agua, la cual es indispensable retirar. Posteriormente pasa al departamento de evaporación donde se cuenta con pre-evaporadores y evaporadores; en estos vasos se evapora gran parte del agua que contiene el jugo claro hasta que los sólidos representan el 65% del total del material que ahora se denomina “meladura”. Esta es usada para llevar a cabo la primera cristalización conocida como masa “A”.

- **Clarificación de meladura**

La Meladura que sale de los evaporadores se clarifica para obtener un material más claro y brillante. En este proceso, la meladura se mezcla con ácido fosfórico, sosa y floculante para luego ser enviado al clarificador de meladura donde se le inyecta aires en pequeñas cantidades que hacen flotar los sólidos en forma de espuma, la cual se retira y se mezcla con el jugo alcalizado (López Villarreal, 2009).

- **Cristalización**

Los tachos son unos aparatos similares a los evaporadores, están formados por vasos y calandrias, la diferencia estriba en que estos trabajan al vacío, están compuestos por un condensador de contacto directo similar al usado en los meladoras (último cuerpo de los evaporadores) y que forman vacío al estar condensando el vapor; son alimentados con meladura ya que aquí se forman los primeros cristales de azúcar, y es controlado bajo rangos de concentración, temperatura, vacío, etc. (López Villarreal, 2009).

- **Centrifugado**

La masa de los tachos se envía a las centrífugas donde se separa la miel de los cristales de azúcar. Para obtener azúcar más blanca, dentro de las centrífugas se aplica agua

caliente para eliminar residuos de miel en los cristales. Las centrifugas están formadas por una canasta y cuenta con telas y entretelas con pequeñas perforaciones de manera que al ir adquiriendo su máxima velocidad, el material que no cristaliza y que por consiguiente se encuentra en fase líquida por efecto de la fuerza centrífuga, pasa a través de los orificios de la tela y por su mayor tamaño el cristal es retenido (López Villarreal, 2009).

- **Secado**

El azúcar húmeda que sale de centrifugas se transporta por elevadores y bandas para alimentar el secador. El secador es un tambor rotativo inclinado en el cual el azúcar se coloca en contacto directo con el aire caliente que entra a contracorriente. El aire se calienta con vapor en un intercambiador tipo radiador y se introduce al secador con ventiladores. El azúcar seca sale por el extremo opuesto, donde está instalada una malla clasificada (criba) para remover los terrones de azúcar u otro tipo de material.

Antes que el azúcar llegue a la criba pasa a través de una serie de imanes para capturar el material ferroso que contenga el azúcar (López Villarreal, 2009).

- **Otros procesos**

- Calderas: para la generación de vapor.
- Planta eléctrica.
- Tratamientos de agua.
- Torres de enfriamiento.

2.7 Estudios de PM₁₀ en Quintana Roo

En el 2009 López Villareal realizó la medición de partículas iguales o menores a 10 micras en el Ingenio San Rafael de Pucté, este trabajo determinó las partículas iguales o menores a 10 micras dentro de la industria y en dos puntos fuera de ella.

La investigación se llevó a cabo en tres zonas; en el Ingenio azucarero, en la Alcaldía y un punto de muestreo dentro de la población. Los resultados y su análisis arrojaron que no se rebasan los límites máximos permisibles durante la época de zafra en el área de trabajo en comparación con la NOM-010-STPS-1999, sin embargo se observa que a

mayor distancia de la Industria azucarera las partículas tienden dar una mayor afectación a la población.

Dentro de las muestras recabadas (López Villarreal, 2009), compara los datos en la época de zafra y posterior a ella, en los que no hay gran variedad en los resultados con respecto a las concentraciones, esto porque la población realiza actividades de quema en sus terrenos.

Para este trabajo de tesis, se propone realizar mediciones de partículas menores a 10 micras en el Ingenio Azucarero San Rafael Pucté y en el poblado Javier Rojo Gómez, que permitirán conocer la concentración y la afectación que tiene la población en cuanto a enfermedades respiratorias provenientes de las actividades del Ingenio Azucarero.

2.8 Descripción del área de estudio.

2.8.1 Localización

El poblado Javier Rojo Gómez, se encuentra en el municipio de Othón P. Blanco, entre los poblados de Pucté y Álvaro Obregón, aproximadamente a 63 km. al sur de la ciudad de Chetumal, cerca de la frontera con Belice. **Javier Rojo Gómez** está a 50 metros de altitud sobre el nivel del mar, y sus coordenadas de GPS son 88.68° de longitud oeste y 18.27° de latitud norte. Dentro de este poblado se encuentra el Ingenio azucarero “San Rafael de Pucté”.

Mientras que el poblado de Pucté se localiza, al igual que el poblado Javier Rojo Gómez, en el Municipio de Othón P. Blanco (en el Estado de Quintana Roo) y está ubicado a 50 metros de altitud sobre el nivel del mar. En las coordenadas 88.66° de longitud oeste y 18.23° de latitud norte.

2.8.2 Orografía

En el municipio de Othón P. blanco, donde se ubican los poblados de Javier Rojo Gómez y Pucté, se encuentran las mayores altitudes del estado, que alcanzan los 250 metros sobre el nivel del mar, como máximo. En el extremo oeste del municipio, en los límites con el estado de Campeche, destaca la Meseta de Zohlaguna donde se presenta la zona de mayor altitud, la cual está separada del resto del territorio por una serie de escalamientos provocados por fallas tectónicas. El resto del territorio del municipio es

eminentemente plano y tiene un suave declive de oeste a este, hacia el mar, con un gran número de áreas deprimidas denominadas “bajos o sabana” , en las cuales se forman inundaciones conocidas como aguadas , debido a las precipitaciones pluviales durante el año (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco , 2010).

Las instalaciones del Ingenio Azucarero San Rafael de Pucté S.A.DE C.V. (Beta San Miguel) de Quintana Roo, se localiza en la provincia geológica de la península de Yucatán, que consiste de calizas.

2.8.3 Hidrografía

La roca caliza que forma el sustrato geológico del municipio de Othón P. Blanco le impide, en gran medida, la formación de escurrimientos y cuerpos de agua superficiales, debido a que este material presenta una alta permeabilidad. Aun así se observan ríos permanentes, el río Hondo, frontera con Belice, y el río Escondido. Existen muchos escurrimientos que se pierden por inundación; muchos de ellos culminan en terrenos deprimidos sujetos a inundaciones, a los que se les da el nombre de aguadas (López Villarreal, 2009).

2.8.4 Clima

En general, el clima del municipio es cálido subhúmedo con régimen de lluvias en verano, pero la variación en las precipitaciones hace que se formen tres subtipos de este clima. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 25°C y 27°C. Los vientos predominantes provienen del mar de las Antillas cargados de humedad (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco , 2010).

El subtipo más húmedo se encuentra en dos zonas aisladas; en la costa y el este del municipio; y a lo largo de la frontera con Guatemala y Belice, en el extremo sur del territorio municipal, donde la precipitación llega a los 1500 mm. al año (López Villarreal, 2009).

2.8.5 Demografía

El municipio de Othón P. Blanco cuenta con una extensión territorial de 18, 760 km² y una población de 213,303 habitantes, la densidad poblacional es de 11.37 habitantes por km². (INEGI, 2012)

El poblado de Javier Rojo Gómez, uno de los dos poblados incluidos en este Trabajo de Tesis, tiene una población aproximada de 2,873 habitantes con un crecimiento bajo poblacional, de los cuales 1472 son masculinos y 1401 femeninas, dividiéndose en 1071 menores de edad y 175 mayores de 60 años en el 2012. Mientras que el poblado de Pucté, que es el segundo poblado incluido en este Proyecto, cuenta con 1757 habitantes, 917 son masculinos y 840 femeninas, dividiéndose en 718 menores de edad y 1039 adultos, de los cuales 133 son mayores de 60 años en el 2012.

2.8.6 Ecosistemas y tipos de suelo

En el municipio de Othón P. Blanco existen 4 tipos de ecosistemas: Arrecifes, Manglar, Sabana y Selva, la cual ocupa la mayor parte del territorio del municipio. Además, presenta una gran variedad de recursos naturales, siendo la flora y la fauna muy rica y variada; encontrando un área boscosa con abundantes especies (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco , 2010).

Entre los tipos de suelo se destacan por su importancia, los de gley o akalché, que son arcillosos y ocupan las zonas más bajas del municipio, inundándose durante la época de lluvias. Son aptos para los cultivos, como el arroz y la caña de azúcar. Existen también suelos tzeke que corresponden a los redzinas y litosoles, También existen suelos luvisoles, que por su profundidad permiten una agricultura mecanizada (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco , 2010). El 41% del territorio municipal es superficie forestal; el 36% se dedica a la actividad pecuaria; el 13% a la agricultura y el restante se destina a otros usos, incluidos los asentamientos humanos (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco , 2010).

2.8.7 Actividad económica de los habitantes del municipio

Una de las actividades más importantes en el municipio y en la rivera del Río Hondo es la agricultura, siendo el cultivo de la caña la actividad más importante económicamente y que genera ingresos para los ejidos de dicha zona. Es en la zona del Río Hondo donde se encuentra el ingenio San Rafael de Pucté. Otra actividad es el cultivo del sorgo y de productos hortofrutícolas en invernaderos rústicos de recién creación, también se siembra chile, papaya, y naranja. (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco , 2010) .

En particular, la población de los ejidos del Río Hondo tiene como principal actividad económica la siembra, cultivo y quema de caña de azúcar.

Otra actividad y no menos importante es la ganadería, para la cual se ha fomentado el establecimiento de praderas, el rescate de tierras ociosas y la construcción de infraestructura (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco , 2010).

También se lleva a cabo la práctica forestal, en la cual el municipio aporta el 30% de maderas preciosas y el 23 % de maderas duras. La pesca también es una actividad económica los principales productos pesqueros son: langosta, tiburón, caracol y escama (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco , 2010).

2.8.8 Aspectos ambientales

Uno de los grandes problemas ambientales a las que se enfrenta la población de los ejidos del Río Hondo es la gran contaminación que se presenta de su principal actividad económica, que es el cultivo de caña, pues el proceso para poder llevar a cabo la siembra es laborioso ya que se sigue llevando a cabo la tumba, rosa y quema, para preparación del terreno, el cual, al ser quemado, genera una gran cantidad de partículas al ambiente que llegan directamente a la población exponiéndola a CO₂ principalmente y con esto dejándola vulnerable a enfermedades respiratorias.

Otro problema que ocasiona el cultivo de caña es el uso de bagazo de caña para alimentar las calderas, generando con ello la energía que consume el Ingenio San Rafael de Pucté; este proceso produce humo que emana constantemente de dichas calderas aumentando cuando éstas tienen un mal funcionamiento y generando aún más emisiones a la atmósfera. A estas fuentes primarias de contaminación se les une el transporte de la caña y productos terminados, que contaminan aún más.

En el ANEXO 1 se encuentran evidencias fotográficas de las emisiones en el poblado de Javier Rojo Gómez.

De igual manera, este proceso de quema de caña de azúcar propicia contaminación del suelo, que se genera por acumular en la corteza terrestre, residuos líquidos y sólidos que contienen organismos patógenos, detergentes, metales pesados, sustancias orgánicas, solventes, grasas, aceites, fertilizantes y plaguicidas (López Villarreal, 2009).

Cabe destacar que la contaminación atmosférica se ha acentuado aún más los últimos años pues en el año 2009 se contaba con un control estricto de emisiones a la atmósfera controlado por paraklones^{MR2}, que ayudaban a reducir las emisiones de las calderas y del proceso para la creación de azúcar dentro de la planta, sin embargo, estos se encuentran fuera de servicio.

CAPÍTULO III. MARCO LEGAL

Existen medidas de seguridad que el gobierno ha adoptado como una medida de control y esto es primordial para garantizar la salud pública y así beneficiar a la población.

- **Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente**

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1988 y modificada el 13 de Diciembre de 1996; en el título primero, capítulo I, artículo 1°, garantiza el derecho a toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar: capítulo VI, la prevención y el control de la contaminación del aire, agua, suelo; Título cuarto, capítulo II: prevención y control de la atmosfera, en donde habla de manera extensa de la expedición de las normas aplicables en cuanto a prevención y control atmosférico, al igual que de los límites máximos permisibles aplicables.

- **Ley General de Salud**

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de febrero de 1984, y modificada el 9 de mayo de 2007, en donde el artículo 1° hace referencia al derecho a la protección de la salud que tiene toda persona en los términos del Artículo 4°. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, “ establece las bases y modalidades para el acceso a los servicios de salud y la concurrencia de la Federación y las entidades federativas en materia de salubridad general. Es de aplicación en toda la República Mexicana y sus disposiciones son de orden público e interés social”. La Ley General de Salud contempla el establecimiento de normas, medidas y actividades inclinadas a la protección a la salud humana ante los riesgos y daños que representa el deterioro ambiental; así como la determinación de valores de concentración máxima de los contaminantes en el ambiente para el ser humano.

- **NOM- 025-SSA1-1993 “Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM₁₀ y partículas menores de 2.5 micrómetros PM_{2,5} en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la**

población, para quedar como Norma Oficial Mexicana **NOM-025-SSA1-1993**, Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM_{10} y partículas menores de 2.5 micrómetros $PM_{2.5}$ de la calidad del aire ambiente”

- **NOM-035-SEMARNAT-1993** que “establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos”

Esta norma tiene como referencia el método para medir la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, por medio de un muestreador, que succiona a través de un filtro una cantidad determinada de aire hacia el interior de una caseta o coraza de protección, durante un periodo de 24 horas.

- **Normatividad en materia de contaminación atmosférica por partículas.**

Las normas de calidad del aire establecen las concentraciones máximas de contaminantes en el medio ambiente que no deberían ser excedidas con determinada frecuencia, a fin de garantizar la protección de la salud de la población, inclusive la de los grupos más vulnerables como los niños, los ancianos y las personas con enfermedades respiratorias crónicas, entre otros.

En México se norman los siguientes contaminantes atmosféricos: bióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), partículas suspendidas totales (PST), partículas menores a 10 micrómetros de diámetro (PM_{10}) y plomo (Pb).

Al igual que en otros países, en México se han desarrollado índices de contaminación que son entendidos fácilmente. En nuestro país se usa el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), según el cual la concentración que señala la Norma de Calidad del Aire para cada contaminante le corresponde a 100 puntos IMECA.

CAPÍTULO IV. JUSTIFICACIÓN

La Industria azucarera Ingenio San Rafael de Pucté realiza la producción de azúcar estándar, exponiendo a la población cercana a ella a grandes emisiones de partículas. Estas emisiones que se generan, llegan de manera directa a la población de Javier Rojo Gómez, dado que la industria azucarera se encuentra dentro del poblado, influyendo consigo la dirección de los vientos; de forma similar estas emisiones afectan a los habitantes del poblado vecino de Pucté que se encuentra a 2.5 km de distancia de esta industria.

Esta industria lleva a cabo actividades dentro y fuera de la planta para la producción del azúcar, manejando dos periodos; el primero, de noviembre a mayo que se conoce como *zafra*, en el cual las actividades de quema y molienda se acentúan y por lo tanto las emisiones a la atmósfera se incrementan dando como resultado una enorme contaminación al aire, emitida por la quema de terrenos, corta y molienda de toneladas de caña, y la producción de energía para la planta; y de junio a octubre el segundo periodo, *no zafra*, el cual no significa que la industria no produzca azúcar y que no realice actividades de quema de caña, sino que, disminuyen y las cantidades de quema y molienda son menores y por lo tanto las emisiones se reducen al mínimo.

Una actividad muy importante que se realiza en los alrededores del poblado, es la quema de la caña en los terrenos, esta actividad surge para facilitarle a los trabajadores el corte de la caña ya que les permite alejar a algunos animales malignos, como víboras y alacranes así como también permite abrir más el plantillo ya que al crecer queda muy cerrada la brecha y no permite el paso para realizar el corte, esta actividad de quema también se realiza para llevar a cabo la preparación del terreno antes de la siembra. Toda esta actividad de quema provoca grandes cantidades de humo en el que van involucrados partículas menores a $10\ \mu$ y monóxido de carbono principalmente, afectando una vez más a la población de manera directa.

Otra fuente de contaminación y no menos importante es el transporte de caña.

En el estudio realizado en el año 2009 por Claudia López Villarreal la industria contaba con paraklones^{MR2} los cuales reducían las emisiones a la atmósfera y que a últimas

fechas estos están fuera de servicio. Sin embargo en este estudio las muestras fueron tomadas dentro de las instalaciones de la industria, mientras que este proyecto será fuera de ella, es decir en la población. A diferencia de ese Estudio, en este Trabajo de tesis, se tomarán muestras fuera de las instalaciones de la Industria, en puntos de muestreo ubicados dentro los poblados, en techos de casas o patios, de manera que será posible estimar con mayor precisión el riesgo al que está expuesta la población. De igual manera. La emisión de partículas a la población podrían causar efectos negativos, para ello, este trabajo permitirá también conocer las cantidades de PM_{10} a las que se expone la población en la temporada de zafra y no zafra, así como las concentraciones que pueden afectar a la población.

CAPÍTULO V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Analizar los niveles promedio de partículas suspendidas menores a 10 micras en el aire en dos poblados cercanos al Ingenio de San Rafael de Pucté.

5.2 Objetivos específicos

- Determinar la exposición a partículas en dos poblados cercanos al Ingenio de San Rafael de Pucté.
- Estimar el riesgo por la exposición a PM_{10} durante la época de zafra y posterior en grupos etarios de 0-6 años, de 6-12, adultos y trabajadores.
- Analizar bivariadamente la relación entre PM_{10} , temperatura y humedad.

CAPÍTULO VI. METODOLOGÍA.

6.1 Método de muestreo

El muestreo se realiza de acuerdo a la NOM-035-SEMARNAT-1993 que “establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos” en los poblados de Javier Rojo Gómez y Pucté. Esta norma tiene como referencia el método para medir la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, por medio de un muestreador, que succiona a través de un filtro una cantidad determinada de aire hacia el interior de una caseta o coraza de protección, durante un periodo de 24 horas.

Para analizar las posibles áreas de afectación en el poblado de Javier Rojo Gómez y Pucté se utiliza un medidor de altos volúmenes (Hi- Vol.), ubicando la dirección de los vientos, bajo la fuente de emisión, después de seleccionar los puntos de muestreo en el poblado indicado.

Los filtros fueron los primeros receptores de las partículas ya que a través de ellos pasa el aire succionado separando las partículas.

6.2 Selección de puntos a muestrear

Como primer acuerdo y basandose en el esquema de muestreo, se decide tomar 3 muestras de partículas suspendidas (PM_{10}) de cada poblado incluido en el Proyecto: Javier Rojo Gómez y Pucté, esto con el objetivo de obtener una mejor precisión en las estimaciones finales. Para captar la potencial variabilidad entre las distintas época de quema de caña de azúcar, este muestreo se realiza en dos épocas del año: en zafra (la producción de azúcar) y la temporada de NO – Zafra. Durante la zafra se llevan a cabo los procesos de quema del bagazo de la caña para producir combustible generando emisiones desmedidas hacia la atmosfera, al igual que al realizar el corte de caña se realiza una previa quema para retirar los animales malignos del plantillo. Asimismo, se determina tomar muestras de niveles de contaminación durante la época de NO – zafra,

para hacer una comparación de los resultados obtenidos con la temporada de zafra, y así dar solución a uno de los objetivos planteados.

Con base en estrategias para abarcar la mayor parte del área de estudio en ambos poblados y con base recursos económicos disponibles, se consideran 3 puntos de muestreo en el poblado de Javier Rojo Gómez (Figura 10) y 2 puntos en el poblado de Pucté (Figura 11), obteniendo 3 muestras en cada uno de los puntos, bajo las mismas condiciones atmosféricas, generando un total de 15 muestras, por temporada (zafra y no – zafra). Las muestras en ambas temporadas son tomadas en los mismos puntos de muestreo de manera que los resultados sean comparables.

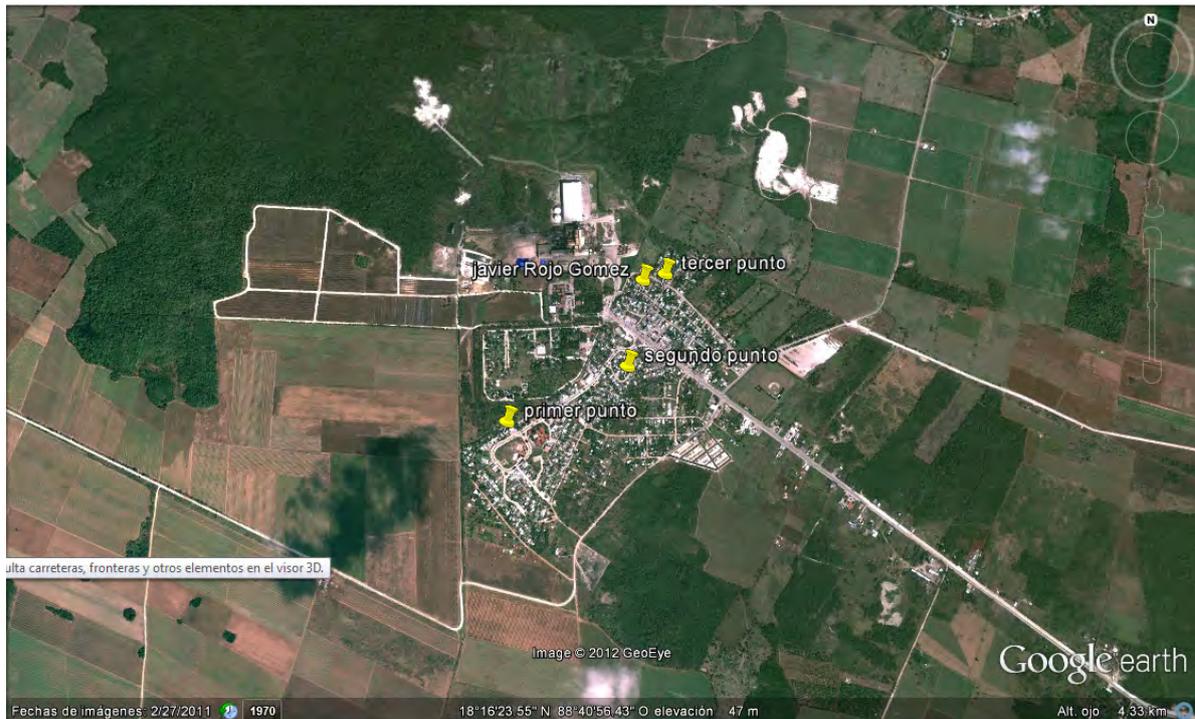


FIGURA 10. Mapa de la ubicación de los puntos en Javier Rojo Gómez

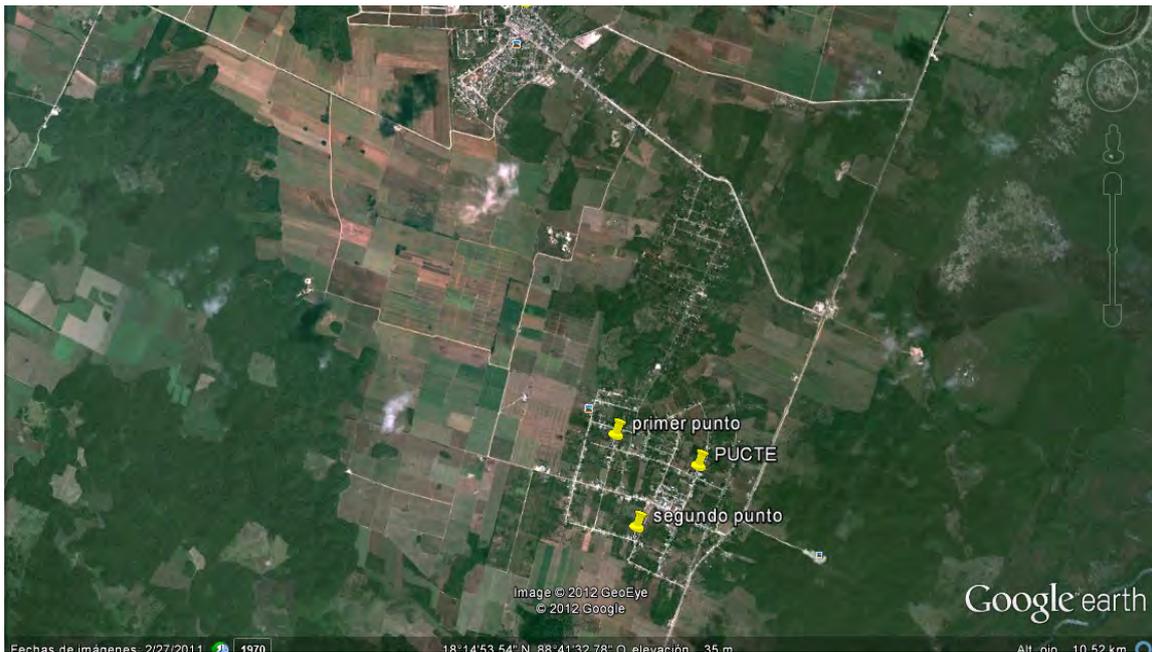


FIGURA 11. Mapa de los puntos de muestreo en Pucté.

6.3 Descripción del equipo para monitorear los niveles de partículas suspendidas en el aire.

Instrumentos portátiles para el muestreo de partículas:

Existen instrumentos que son útiles para medir los gases en la atmósfera, así como estos, también hay equipos portátiles que nos ayudan medir las partículas en el aire, ya sea en el ambiente laboral o en microambientes (López Villarreal, 2009). Estos pueden ser:

- Los muestreadores de polvo respirables (muestreador de aire personal).
- Los impactores en cascada personal.
- Ciclones personales.
- Casquetes con filtro.

El HVS, muestreador de Altos Volúmenes:

Los muestreos son realizados utilizando medidores de alto volumen (Hi-Vol). El equipo de Hi-Vol es un muestreador de aire particulado que aspira el aire del medio ambiente, a un flujo constante, dentro de un orificio de forma especial donde el material particulado

en suspensión es separado inercialmente, en fracciones de uno o más, dentro de un rango menor a 10 micras. Para este trabajo se fija un tiempo de 24 horas para repetir este proceso. Es decir, se toman muestras cada 24 horas, donde el equipo realiza, de manera constante, el proceso previamente descrito, tomando como inicio la hora en que éste se conecta (Ingenieros, 2010).

A continuación se presentan algunas características del manejo del equipo de muestreo (Ingenieros, 2010):

- El equipo está diseñado para aspirar la muestra de aire e introducirla por la entrada del muestreador (HI - VOL), a través del filtro recolector de partículas, a velocidad uniforme en todas las secciones del filtro (Ingenieros, 2010).
- Se fija y se sella el filtro en posición horizontal, de modo que la muestra de aire pase a través del filtro.
- Permitir que el filtro sea instalado y retirado convenientemente.
- Proteger el filtro y al muestreador de las precipitaciones e impedir que se introduzcan insectos y otros desechos.
- Minimizar fugas de aire que pudiesen causar error en la medición del volumen de aire que pasa a través del filtro.
- Minimizar la recolección de polvo de la superficie de soporte.

6.4 Materiales y equipo

Para realizar los muestreos, se utiliza el siguiente material:

Muestreador de altos volúmenes Hi-Vol	Estufa
Filtro de celulosa	Desecador
Balanza analítica	Bolsas de plástico
Pinzas	Carpetas
Tenaza	Guantes de asbesto

6.5. Muestreo en el poblado Javier Rojo Gómez y Pucté

Preparación de filtros

Como primer punto se coloca un distintivo a los filtros y se verifica que no se encuentren dañados. De acuerdo con la NOM-035-SEMARNAT-1993, los filtros utilizables pueden ser de fibra de vidrio o de cualquier otro material inherente o higroscópico (capacidad del material para absorber agua). Seguido cada filtro es pesado en el laboratorio de la Universidad de Quintana Roo, en una balanza analítica de precisión.

Posteriormente, son puestos a peso constante, sometiéndolos, en una estufa a una temperatura de 100 °C, cada hora se sacan de la estufa y se pesan en la misma balanza mencionada anteriormente hasta que alcanzan un peso no variable. Seguidamente, son guardados en una bolsa y sellados para evitar la absorción de humedad.

Trabajo de Campo

Los puntos seleccionados se determinan por la cercanía a la Industria azucarera y así mismo por la dirección de los vientos que influye en la distribución de las emisiones que realiza el ingenio para ello se consideran los poblados Javier Rojo Gómez y Pucté.

En ésta etapa el equipo HI - VOL es trasladado al poblado de Javier Rojo Gómez donde se instala y prepara para el primer muestreo, localizando previamente el primer punto de muestreo tomando en cuenta las condiciones atmosféricas. También se anota el distintivo del filtro, la hora de inicio, la fecha de muestreo, y el sitio, todo esto para llevar un control que permita analizar con facilidad los resultados posteriores.

La colocación del filtro consiste en ubicar en un portafiltro, procurando que no tenga contacto con las manos ni otro objeto, de tal manera que no se alteren las condiciones que ya tenía. Enseguida, se procede a suministrar energía eléctrica al equipo durante 24 horas, para posteriormente retirar el filtro del equipo con ayuda de unas pinzas y colocándolo en bolsas de plástico. Finalmente, las bolsas son selladas.

Todo el procedimiento anterior, tanto en el ámbito de laboratorio como de trabajo de campo, se repite en el poblado de Pucté, que se encuentra aproximadamente a 3.2 km de distancia de Javier Rojo Gómez y más alejado del Ingenio Azucarero. En Pucté, las

muestras son obtenidas y analizadas de igual manera que en Javier Rojo Gómez, ya que la hipótesis es que también a Pucté le llegan las toxinas del Ingenio Azucarero, cuando hay corte de caña y durante el proceso de zafra.

En el ANEXO 2 se observa la recolección de muestras.

6.6 Análisis de resultados

- **Cálculos PST (partículas suspendidas totales)**

Seguido al trabajo de campo, se lleva a cabo el análisis de la información, que consiste en la comparación de los resultados obtenidos con la NOM- 025-SSA1-1993 que a texto, dice: “Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM_{10} y partículas menores de 2.5 micrómetros $PM_{2.5}$ en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población, para quedar como Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM_{10} y partículas menores de 2.5 micrómetros $PM_{2.5}$ de la calidad del aire ambiente”.

Criterios para evaluar la calidad del aire.

El análisis de la muestra en laboratorio es mediante la diferencia de pesos calculado mediante la siguiente fórmula:

$$V = (Q_{pnt})(t)$$

Dónde:

Q_{pnt} = es igual a la velocidad del flujo en m/s.

T = tiempo de recolección de la muestra en hrs.

Para obtener el peso de la muestra se utilizó la siguiente expresión:

$$PST = \frac{(G_f - G_i) \times 10^6}{V}$$

Dónde:

G_f = es el peso final del filtro con la muestra.

G_i = el peso inicial del filtro sin la muestra.

V = volumen de la muestra.

Dado que la unidad de tiempo para recolectar la muestra fue 24 horas (un día), se tiene que calcular pesos diarios, para ambos poblados incluidos en el Proyecto y por cada temporada.

- **Cálculo IMECA**

Después de obtener los pesos, se calcula el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire “IMECA” por cada día. Este Índice es útil como criterio para decidir si hay un aire limpio o contaminado, asimismo, ayuda a preveer un posible peligro para la salud de los habitantes de cada poblado. Los IMECAS se calcularon mediante la siguiente expresión:

$$\text{IMECA} = \text{CONCENTRACION PM}_{10} \times 0.833 \quad (121 <) \quad (1)$$

$$\text{IMECA} = \text{CONCENTRACION DE PM}_{10} \times 0.5 + 40 \quad (121 - 320) \quad (2)$$

$$\text{IMECA} = \text{CONCENTRACION PM}_{10} \times 0.625 \quad (320 >) \quad (3)$$

Para conocer el valor del IMECA en un periodo de 24 horas, la concentración de PM_{10} se multiplica por un factor según sea la primera: si es menor a 121 μg se utiliza la expresión (1), si se encuentra entre 121μg y 320μg, la expresión (2) y si es mayor a 320 μg se utiliza la expresión (3). De esta manera, la calidad del aire medida a través de los IMECAS tendrá un efecto según se muestra en el cuadro 3.

Por último y para concluir con los objetivos planteados se realiza el cálculo del riesgo a la salud para ambas poblaciones (Pucté y Javier Rojo Gómez), descrito a continuación.

Cálculos de exposición debido a inhalación.

Las potenciales inhalaciones por exposición pueden ser estimadas basándose en:

- 1.- Duración de la exposición.
- 2.- La tasa de inhalación durante el evento, del individuo expuesto.
- 3.- La concentración del contaminante en el aire.
- 4.- Cantidad de aire retenida en los pulmones.

En orden de importancia se consideran dos tipos de vías de exposición por inhalación como las de mayor impacto, la más importante es directamente por inhalación del contaminante en el aire. Todos los individuos dentro de un radio de, aproximadamente, 80 km respecto al sitio de emisión, se ven afectados.

Una segunda vía importante de exposición es la inhalación de VOCs (por sus siglas en inglés: compuestos orgánicos volátiles), que se convierten fácilmente en vapores y gases, que son dañinos para el medio ambiente y la salud y a corto plazo causan reacciones alérgicas o mareos.

- **Cálculo de dosis de inhalación de partículas PM₁₀ (factor INH)**

La siguiente relación es la utilizada de manera teórica para calcular la cantidad inhalada de PM₁₀ (INH) como resultado de la inhalación del aire con polvo. El cuadro 5, muestra ya estos valores calculados por grupos etarios de 0-6 años, de 6-12 años y adultos.

$$INH = CA \times IR \times RR \times ABS_S \times ET \times EF \times ED \times \frac{1}{BW} \times \frac{1}{AT}$$

Donde

INH = Dosis de inhalación (mg/kg/día).

CA = Concentración química en el aire (mg/m³).

IR = Tasa de inhalación (m³/h).

RR = Tasa de retención del aire inhalado (%).

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

ABS_s = Porcentaje de químico absorbido en el torrente sanguíneo (%).

ET = Tiempo de exposición (h/ día).

EF = Frecuencia de exposición (días/ año).

ED = Duración de exposición (años).

BW = Peso corporal (kg).

AT = Tiempo promedio (periodo en el que las exposiciones se promedian, días).

La concentración de contaminación en el aire, CA, se define por la concentración al nivel del suelo (GLC), representado por la partículas respirables (PM₁₀), expresado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (Asante-Duah, 1993)

En el cuadro 5 representa los valores en promedio de peso y tasa de inhalación para los grupos etarios de 0-6 años, de 6-2años y para adultos.

CUADRO 5. Parámetros de evaluación por exposición (Asante-Duah, 1993).

PARAMETRO	NIÑOS DE 0-6 AÑOS	NIÑOS DE 6-12 AÑOS	ADULTOS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
• Promedio de peso.	16 kg	29 kg	70 kg
• Promedio de edad.	5 años	6 años	58 años

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

Continuación del cuadro 5.

PARÁMETRO	NIÑOS DE 0-6 AÑOS	NIÑOS DE 6-12 AÑOS	ADULTOS
CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD			
• Tasa de inhalación.	3.8 m ³ /día	15 m ³ /día	20 m ³ /día
• Frecuencia de inhalación de partículas.	365 días al año	365 días al año	365 días al año
• Duración de inhalación de partículas.	12h/días	12 h/ días	12h/días

En el cuadro 6 se describen los valores para el factor INH con los respectivos datos de la fórmula.

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

CUADRO 6. Datos de evaluación para exposición a inhalación (Asante-Duah, 1993).

INHALACIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS								
Grupos	IR	RR	ET	EF	ED	BW	AT	FACTOR INH
(1-6 años) NC	0.25	1	12	365	5	16	1825	1.88E-01
(1-6 años)C	0.25	1	12	365	5	16	25550	1.34E-02
(6-12 años) NC	0.46	1	12	365	6	29	2190	1.90E-01
(6-12 años)C	0.46	1	12	365	6	29	25550	1.63E-02
Adultos NC	0.83	1	12	365	58	70	21170	1.42E-01
Adultos C	0.83	1	12	365	58	70	25550	1.18E-01
Adultos trabajadores NC	0.83	1	12	260	58	70	21170	6.76E-02
Adultos trabajadores C	0.83	1	12	260	58	70	25550	5.60E-02

*NC = No cancerígenos.

*C= cancerígenos.

Cálculo de Índice de Riesgo

Tomando los datos sobre INH teóricos (cuadro 6), se calculan los riesgos debido a contaminantes del aire en cada poblado, utilizando valores tóxicos que corresponden a la dosis de exposición. Estos valores de toxicidad corresponden a las concentraciones por exposición y son principalmente utilizados para evaluar riesgos debidos a concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en el aire (MADEP, 2008).

Dadas las características de este estudio, se considera la siguiente expresión para el cálculo del índice de riesgo (MADEP, 2008).

$$HI_{Inhalación} = \left(\frac{ADD_{Inhalación-Gi}}{RfD_{oral}} \right) + \left(\frac{ADD_{Inhalación}}{RfD_{Inhalación}} \right)$$

Respecto al primer sumando $\left(\frac{ADD_{Inhalación-Gi}}{RfD_{oral}} \right)$, el $ADD_{inhalación}$ se calcula como sigue:

$$ADD_{Inhal-Gi} = \frac{[OHH_{particulado}] \times 1.5 \times [PM_{10}] \times Inh \times RAF \times EF \times ED \times EP \times C1 \times C2 \times C3}{BW \times AP}$$

Dónde:

$HI_{inhalación}$ = Índice de riesgo (sin unidad).

$ADD_{inhal-Gi}$ = Dosis promedio diario debido a estornudos e inhalación de partículas; expresado, en mg/kg-día.

$OHH_{particulado}$ = Concentración de combustibles o material peligroso en las partículas suspendidas en el aire; expresado en mg/kg.

PM_{10} = Concentración en el aire de partículas menores a 10μm en diámetro; expresado en μg/m³.

Inh = Tasa de inhalación de la persona expuesta durante el periodo de exposición; expresado en l/min.

RAF_{oral} = Factor relativo de absorción para la exposición gastrointestinal.

EF = Número de eventos de exposición durante el periodo de exposición dividido por el número de días en el periodo de exposición; expresado como eventos/días.

ED = Duración de los eventos de exposición; expresado en hrs/evento.

EP = Duración del evento de exposición; expresado en días.

BW = Peso corporal del receptor durante el periodo de exposición; expresado en kg.

AP = Duración promedio del periodo, expresado en días.

C1= Factor unitario de conversión para la masa corporal.

C2= Factor unitario de conversión para el volumen.

C3= Factor de conversión del tiempo.

Cabe mencionar que en este Proyecto no se cuantificaron fuentes de absorción de PM₁₀ sino que únicamente se cuantificó la exposición diaria. Esto indica que el factor RAF_{oral} es igual a cero. Por lo tanto,

$$\left(\frac{ADD_{Inhalación-Gi}}{RfD_{oral}}\right) = 0$$

Respecto al segundo sumando $\left(\frac{ADD_{Inhalación}}{RfD_{Inhalación}}\right)$, se calcula de la siguiente manera:

ADD_{inhalación} = Exposición diaria a PM₁₀ en cada poblado; expresado en μg/m³.

La EPA (Environmental Protection Agency) publica valores tóxicos de inhalación cancerígena y no cancerígena en URF's (factores de riesgo) con unidades (μg/m³) y en concentraciones de referencia (RFC) cuyas unidades son μg/m³. En este trabajo se tomó como dosis de referencia el valor máximo de la norma (NOM-023-SSA-199), que es 120 μg/m³. Seguidamente, se convirtieron las concentraciones de referencia (RFC) a dosis de referencia (RFD) mediante la siguiente expresión.

$$RfD = NORMA \times \text{tasa de inhalación} / \text{peso corporal}$$

Dónde:

Norma = Es el valor asignado por la NOM-023-SSA-1993. Promedio de 24 horas: 120 μg/m³

Tasa de inhalación = expresado m³/día

Peso corporal = Promedio de peso establecido; expresado en kg.

Estos dos últimos (la tasa de inhalación y peso corporal) han sido designados por la EPA para ajustes alométricos en derivados de concentraciones de referencia (USA, EPA 1994).

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

CUADRO 7. Parámetros de evaluación por exposición (Asante-Duah, 1993).

PARÁMETRO	NIÑOS DE 0-6 AÑOS	NIÑOS DE 6-12 AÑOS	ADULTOS
Promedio de peso.	16 kg	29 kg	70 kg
Tasa de inhalación	3.8 m ³ /día	15 m ³ /día	20 m ³ /día

Dada la explicación previa, se tiene:

$$HI_{Inhalación} = 0 + \left(\frac{ADD_{Inhalación}}{RfD_{Inhalación}} \right) =$$

$$HI_{Inhalación} = \left(\frac{ADD_{Inhalación}}{RfD_{Inhalación}} \right)$$

Finalmente, con esta expresión se calcula el índice de riesgo diario para cada poblado. Su interpretación es la siguiente; el índice de riesgo no tiene unidades, el cual si es menor a 1 no hay riesgo por lo tanto si es mayor existe un riesgo al mismo tiempo que aumenta (MADEP, 2008)

Análisis de la información

Para alcanzar los objetivos, el análisis estadístico de la información esta concentrado en lo siguiente:

- a) Distribución de las variables de exposición y meteorológicas, para todo el periodo de análisis, mediante estadísticos descriptivos.
- b) Tablas descriptivas para la exposición (PM₁₀) y variables meteorológicas, por sitio de muestreo y por **temporada**.

c) Distribución del Índice de Riesgo, por grupo etario y por **temporada**, mediante estadísticos descriptivos.

d) Gráficos de dispersión para analizar la relación bivariada entre niveles de contaminación y variables ambientales.

Como estadísticos descriptivos se presentan el promedio y la mediana (P_{50}), así como las medidas de variabilidad correspondientes (mínimo, máximo y la desviación estándar).

Por **temporadas** se entienden los periodos de *zafra* (*noviembre a mayo*) y *no-zafra* (*junio a octubre*). Esta variable fue incluida, considerando la importancia de analizar la variación en la exposición de la población (PM_{10}), entre temporadas. Esta información será útil para demostrar que los niveles de contaminación se incrementan significativamente en la temporada de *zafra*.

Asimismo, los grupos etarios considerados para analizar la distribución del Índice de Riesgo son 0 – 6 y 6 – 12 años de edad. Asimismo, se consideraron los grupos de **adultos** y de **trabajadores de la Planta Azucarera** para calcular su Índice de Riesgo y compararlos directamente con los otros (Asante-Duah, 1993).

CAPÍTULO VII. RESULTADOS

En este Capítulo se presentan los resultados obtenidos en ambos periodos de muestreo, comprendiendo los meses de abril y septiembre, en zafra; y diciembre del 2012 en temporada de no zafra, Los resultados mostraron un incremento significativo durante la temporada de zafra (periodo en el que se realiza el corte y quema de la caña), en los niveles de contaminación del aire (PM_{10}) comparando con la temporada de no zafra.

Se recolectaron datos respecto a las siguientes variables:

- a) Concentración de PM_{10}
- b) Temperatura
- c) Humedad

Las variables temperatura y humedad no tuvieron tanto impacto sobre las muestras, ya que estuvieron casi en el mismo rango en ambos poblados. Sin embargo se puede observar que para el periodo de zafra y no zafra se generaron grandes emisiones de PM_{10} , observando en el poblado Javier Rojo Gómez cercano al Ingenio San Rafael de Pucté las concentraciones más altas.

Los resultados se clasificaron en:

- 1. Estadísticas descriptivas generales.**
- 2. Análisis de riesgo.**
- 3. Análisis por temporada y por sitio de muestreo.**
- 4. Gráficos de dispersión, por poblado.**

En el primer grupo de resultados, se analizaron los datos recabados durante todo el estudio, tanto del periodo de zafra y de no zafra, manejando un promedio general diario para las variables humedad, temperatura y PM_{10} , calculando además, la desviación estándar, el dato mínimo y el máximo.

Los resultados sobre el Análisis de Riesgo muestran los datos obtenidos en cada grupo etario. De igual manera, se muestra si algún límite es rebasado de acuerdo a los índices

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

de riesgo calculados para niños de 0-6, 6-12 años, adultos y trabajadores obtenidos en la temporada de zafra y no zafra.

En el caso de los análisis por temporada y por sitio de muestreo, se presentan los valores, por temporada y para cada poblado es decir, resultados en zafra y no zafra para Pucté; y en zafra y no zafra para Javier Rojo Gómez. Asimismo se muestran los resultados por punto de muestro en cada población incluida en el estudio.

En los gráficos de dispersión se observa la forma en que covarían la concentración de PM_{10} con respecto a temperatura y humedad, para todo el periodo de análisis, y por temporada, zafra y no zafra.

Descriptivas generales

Los datos recabados durante todo el periodo de análisis proporcionan una idea de los niveles reales de emisión de partículas generadas a partir de la quema de caña de azúcar, y los efectos que causan sobre la población.

Tabla 1. Información descriptiva de las variables PM_{10} , temperatura y humedad para todo el periodo de análisis.

	Promedio	DE	Mín	P50	Máx
IMECAS	152.02	134.75	23.82	107.42	485.09
Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	227.63	223.7	28.59	134.81	776.14
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	24.83	2.38	19.8	25.3	28.42
Humedad (%)	87.05	4.43	77.78	86.17	95.78

En tabla 1 se muestran la concentración mínima de PM_{10} durante todo el muestreo, de $28.59\mu\text{g}/\text{m}^3$ y la más alta es de $776.14\mu\text{g}/\text{m}^3$ rebasando claramente el límite máximo permisible, que es $210\mu\text{g}/\text{m}^3$, en cuanto al valor de IMECA se observa que en el

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

mínimo no rebasa la norma mientras que el máximo sí la rebasa, por estar arriba de los 100 IMECAS, que es el límite permisible.

Entre las temporadas de zafra y no zafra se observó una gran diferencia en la concentración de PM₁₀, pasando de 104.31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la temporada de no - zafra a 360.06 en Zafra Respecto a la temperatura y la humedad, ambas se mantuvieron con una diferencia mínima: de 3° y de 3% respectivamente (tabla 2).

Tabla 2. Información descriptiva de la concentración por temporada.

	Zafra					No zafra				
	Prom	DE	Min	P50	Max	Prom	DE	Min	P50	Max
IMECAS	228.4	158.2	23.81	256.5	485.1	80.71	42.03	27.22	88.47	158.4
Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	360.0	259.3	28.60	410.5	776.1	104.3	61.13	32.68	106.2	236.9
Temperatura (°C)	23.49	2.79	19.8	22.75	28.42	26.09	0.78	25.09	26.01	27.31
Humedad (%)	85.66	3.71	77.78	85.84	91.79	88.34	4.77	80.93	89.66	95.78

Prom: Denota el promedio aritmético.

De igual manera, en la tabla 2, comparando el periodo de zafra con la temporada de NO- zafra se observó una gran diferencia en cuanto al valor de PM₁₀, ya que el valor promedio en temporada de NO zafra no rebasa los límites máximos permisibles, mientras que el promedio de concentración en época de zafra muestra que este límite fue rebasado, además que en zafra se tiene el valor más alto de todo el muestreo con 776.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Análisis de riesgo

En las siguientes tablas se presentan los resultados correspondientes a los riesgos calculados de los diferentes grupos etarios, y en periodos de zafra y no zafra, analizando el promedio, la desviación estándar, y la mediana (P₅₀). Es considerado como Índice de riesgo si el valor obtenido es mayor a 1. De esta manera, cualquier Índice de Riesgo dentro mayor a este límite será considerado como riesgoso.

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

Tabla 3. Información descriptiva para los riesgos calculados en niños de 0-6 años, para todo el periodo de análisis.

	Promedio	DE	Min	P50	Max
Todo el periodo	1.50	1.47	0.188	0.889	5.12
Zafra	2.37	1.71	0.188	2.71	5.12
No zafra	0.686	0.403	0.215	0.701	1.56

La tabla 3 nos muestra los resultados obtenidos para el grupo etario de 0-6 años en los periodos de zafra y no zafra. Cabe destacar que los niveles promedio para el Índice de Riesgo durante el periodo de zafra son muy elevados rebasando el límite de riesgo permisible, con un promedio de 2.37, y un máximo de 5.12. Mientras que los correspondientes al periodo de no zafra muestran un Índice de Riesgo bajo, rebasando apenas la norma. Este comportamiento sugiere que, para este grupo se presenta un mayor riesgo, durante el periodo de zafra. Más aún, la tabla 3 muestra que la mediana del riesgo durante el periodo de zafra fue 2.71, lo cual indica que el 50% de los días de ese periodo presentaron un riesgo de 2.71 o mayor, para ese grupo etario.

Tabla 4. Información descriptiva para los riesgos calculados en niños de 6-12 años, para todo el periodo de análisis y por temporada.

	Promedio	DE	Min	P50	Max
Todo el periodo	0.696	0.684	0.087	0.412	2.37
Zafra	1.102	0.793	0.087	1.256	2.37
No zafra	0.318	0.187	0.1001	0.325	0.725

La tabla 4 presenta el análisis descriptivo del cálculo del riesgo para el grupo etario de 6-12 años, donde se puede observar que, en promedio, el Índice de Riesgo durante la temporada de zafra fue mayor a 1, mientras que en la temporada de no zafra, dicho promedio fue 0.318. Sin embargo, claramente se observa un incremento significativo

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

del riesgo durante la temporada de zafra, donde la mediana (P50), indica que el 50% de los días de ese periodo, mostraron un riesgo de 1.256 o mayor, para el grupo etario de 6 a 12 años de edad.

Tabla 5. Información descriptiva para los riesgos calculados en adultos, para todo el periodo de análisis y por temporada.

	Promedio	DE	Min	P50	Max
Todo el periodo	0.942	0.926	0.118	0.558	3.12
Zafra	1.491	1.07	0.118	1.701	3.21
No zafra	0.431	0.253	0.135	0.44	0.981

Respecto a los adultos, la tabla 5 muestra la información descriptiva para los riesgos calculados, para todo el periodo de análisis y por temporada. Los resultados obtenidos muestran que, para este grupo etario, el mayor índice de riesgo se presentó durante el periodo de zafra con un promedio de 1.491 en el índice de riesgo mientras que durante el periodo de no zafra el índice de riesgo disminuyó a 0.431. Sin embargo, la mediana del riesgo (P50) durante la temporada de Zafra, muestra claramente un alto riesgo para los adultos de ambos poblados, pues la mitad de los días (zafra) presentaron un riesgo de 1.701 o mayor para éstos.

Tabla 6. Información descriptiva para los riesgos calculados en trabajadores, para todo el periodo de análisis y por temporada.

	Promedio	DE	Min	P50	Max
Todo el periodo	0.371	0.365	0.046	0.220	1.268
Zafra	0.588	0.423	0.046	0.671	1.268
No zafra	0.169	0.099	0.053	0.173	0.387

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

El Índice de Riesgo fue también calculado para los trabajadores, cuyos resultados se muestran en la Tabla 6. Contrario a lo observado con los grupos etarios, en este caso, no se obtuvieron resultados que indiquen un riesgo real para los trabajadores de la planta. Es decir, los riesgos no presentan altos valores, en ninguna de las temporadas, sugiriendo así, que este grupo es el menos afectado.

Análisis por temporada y por sitio de muestreo

Los resultados obtenidos por temporada y sitio de muestreo marcan una gran diferencia en cuanto a PM_{10} , pues los valores de zafra demuestran que el poblado más cercano, Javier Rojo Gómez, recibe altas concentraciones de PM_{10} , mismas que reciben los pobladores.

Tabla 7. Información descriptiva de la exposición a PM_{10} (ug/m^3) en JRG y Pucté.

	Pucté					JRG				
	Prom	DE	Min	P50	Max	Prom	DE	Min	P50	Max
Todo el periodo	76.51	54.25	28.59	40.84	167.48	319.9	238.5	36.76	320.6	776.1
Zafra	59.64	58.24	28.59	36.76	163.39	526.96	140.81	404.4	449.3	776.1
NO Zafra	90.55	51.50	32.67	100.01	167.48	113.01	68.23	36.76	134.81	236.9

*JRG: Javier Rojo Gómez

Prom: denota el promedio aritmético.

Lo anterior se corrobora con los datos de la tabla 7, donde se puede observar que, durante la temporada de zafra, el poblado Javier Rojo Gómez fue el que tuvo los valores más altos de PM_{10} mientras que durante la época de no zafra, el poblado de Pucté presentó los niveles más altos de concentración.

Evaluación de partículas menores a $10\ \mu$ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté



Figura 12. Ubicación del ingenio San Rafael de Pucté.

Tabla 8. Estadísticos descriptivos sobre Exposición, por punto de muestreo.

		Promedio	DE	Min	P50	Max
JRG	PM₁₀_JRG_1	375.8	356.09	49.02	355.4	776.14
	PM₁₀_JRG_2	281.2	168.89	36.76	320.67	449.34
	PM₁₀_JRG_3	302.9	179.35	134.81	288.0	555.5
Pucté	PM₁₀_Pucté_1	65.35	53.88	28.59	36.76	163.4
	PM₁₀_Pucté_2	89.86	57.62	28.59	106.21	167.4
	PM₁₀_Pucté_3	NA	NA	NA	NA	NA

*PM₁₀_JRG_1: Valor de PM₁₀ en Javier Rojo Gómez para el punto 1.

*PM₁₀_JRG_2: Valor de PM₁₀ en Javier Rojo Gómez para el punto 2.

*PM₁₀_JRG_3: Valor de PM₁₀ en Javier Rojo Gómez para el punto 3.

*PM₁₀_Pucté_1: Valor de PM₁₀ en Pucté para el punto 1.

*PM₁₀_Pucté_2: Valor de PM₁₀ en Pucté para el punto 2.

*PM₁₀_Pucté_3: Valor de PM₁₀ en Pucté para el punto 3.

*NA: no hay datos.

DE: Denota la desviación estándar.

En la tabla 8, se observa claramente que los puntos más cercanos a la industria azucarera reciben los mayores niveles contaminación por PM₁₀ teniendo la mayor concentración sobre el punto número 1, situado a la izquierda de la industria (figura 13).

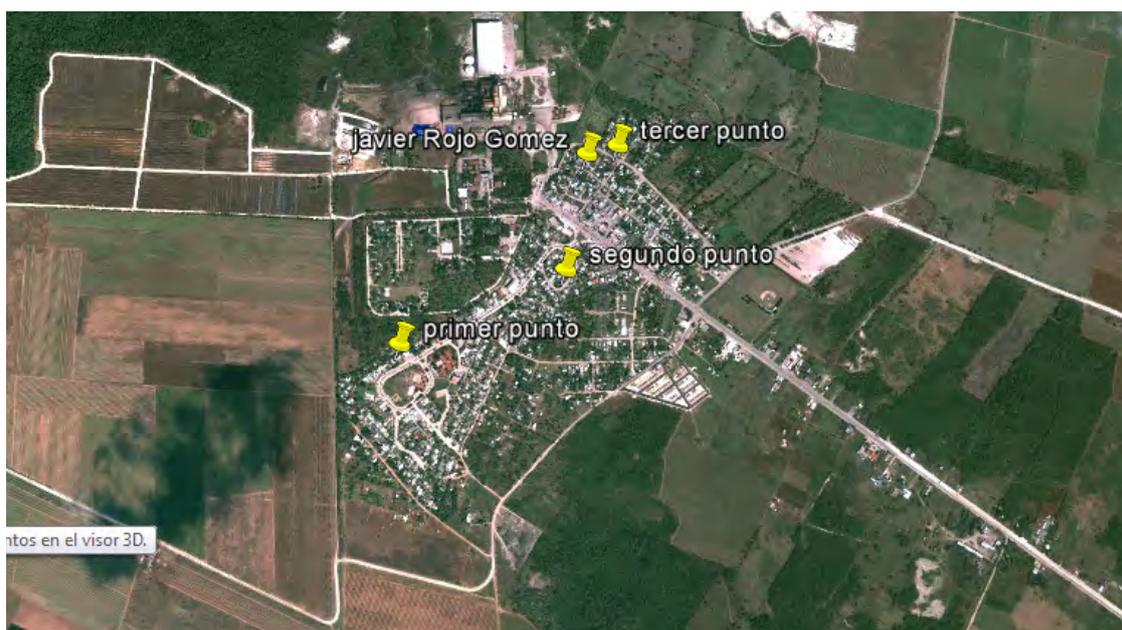


Figura13. Puntos de muestreo en el poblado Javier Rojo Gómez

Mientras que para el poblado de Pucté se tuvo valores bajos de PM_{10} con respecto a los puntos de muestreo (Figura 14).

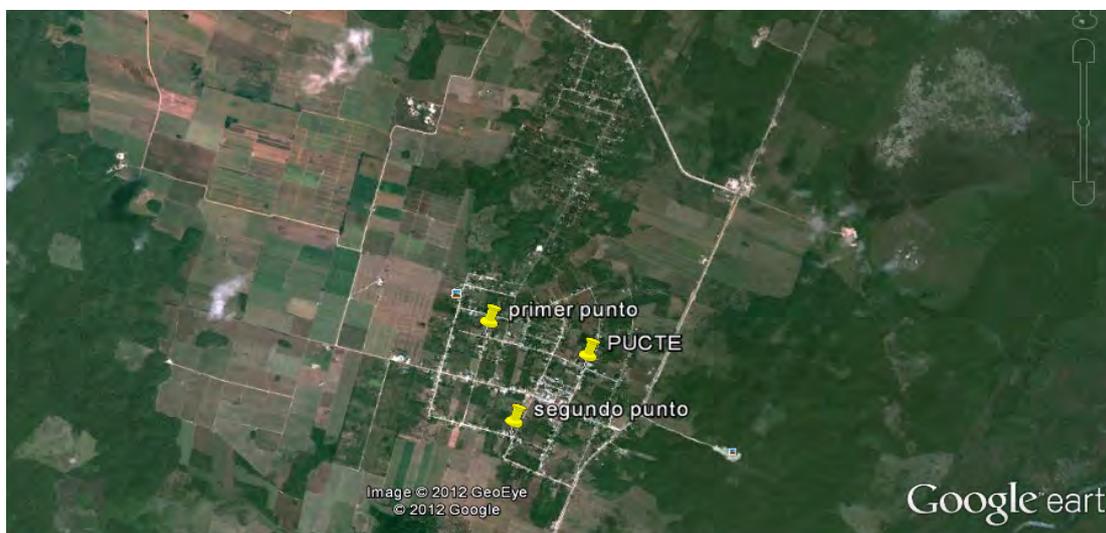


Figura 14. Puntos de muestreo en el poblado Pucté.

Evaluación de partículas menores a 10 μ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

Tabla 9. Exposición, por temporada y por punto de muestreo, en el poblado Javier Rojo Gómez.

	Zafra					No zafra				
	Prom	DE	Min	P50	Max	Prom	DE	Min	P50	Max
PM₁₀_JRG_1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	698.5	67.5	653.6	665.8	776.1	53.10	4.08	49.01	53.1	57.18
PM₁₀_JRG_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	423.4	23.2	404.4	416.6	449.3	138.8	100.1	36.76	142.9	236.9
PM₁₀_JRG_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	458.9	83.9	404.4	416.6	555.5	147.05	21.2	134.8	143.8	171.56

*PM₁₀_JRG_1: Valor de PM₁₀ en Javier Rojo Gómez para el punto 1.

*PM₁₀_JRG_2: Valor de PM₁₀ en Javier Rojo Gómez para el punto 2.

*PM₁₀_JRG_3: Valor de PM₁₀ en Javier Rojo Gómez para el punto 3.

Prom: denota el promedio aritmético.

Al analizar la información por punto de muestreo, por temporada, en Javier Rojo Gómez se observa claramente que el punto número 1 recibe las mayores concentraciones de PM₁₀, aumentando de manera significativa durante la temporada de zafra, mientras que el punto de muestreo 2 fue el que recibe menor afectación.

Tabla 10. Exposición, por temporada y por punto de muestreo, en el poblado Pucté.

	Zafra					No zafra				
	Prom	DE	Min	P50	Max	Prom	DE	Min	P50	Max
PM₁₀_Pucté_1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	77.61	24.5	28.56	40.84	63.4	53.10	35.37	32.68	32.68	93.95
PM₁₀_Pucté_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	32.67	5.77	28.59	32.67	36.76	127.9	34.2	106.21	110.3	167.5
PM₁₀_Pucté_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

*PM₁₀_Pucté_1: Valor de PM₁₀ en Pucté para el punto 1.

*PM₁₀_Pucté_2: Valor de PM₁₀ en Pucté para el punto 2.

*PM₁₀_Pucté_3: Valor de PM₁₀ en Pucté para el punto 3.

*NA: no hay datos.

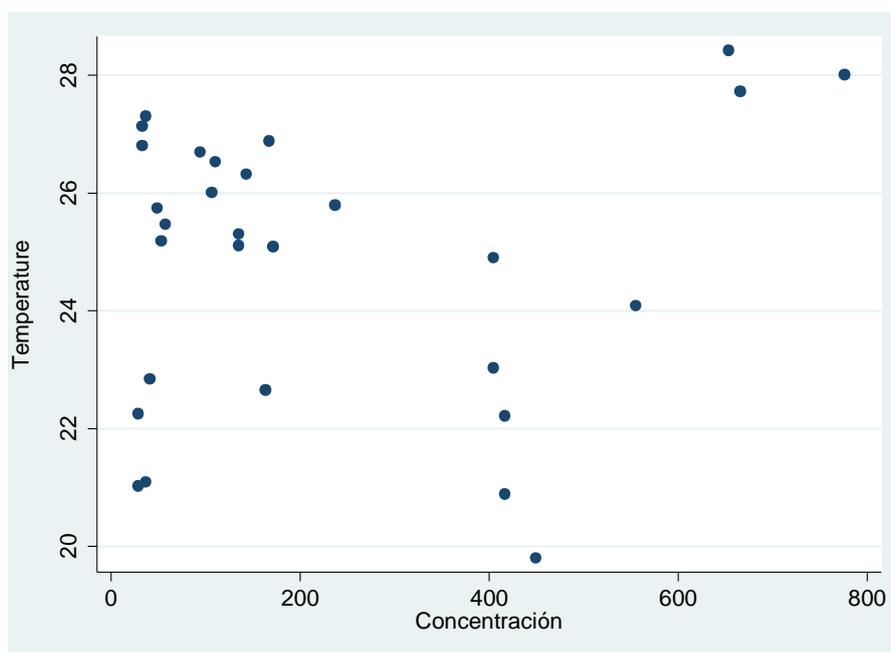
Prom: denota el promedio aritmético.

En la Tabla 10 se observa que el punto con mayor afectación en Pucté durante el periodo de zafra es al punto 2. Este punto se encuentra ubicado a 3km aproximadamente de la Industria Azucarera.

Gráficos de dispersión, por poblado incluido en el Proyecto de Tesis.

A continuación se presentan gráficas de dispersión que relacionan las variables *temperatura* y *humedad* con la concentración (PM_{10}), para las temporadas de zafra y no zafra.

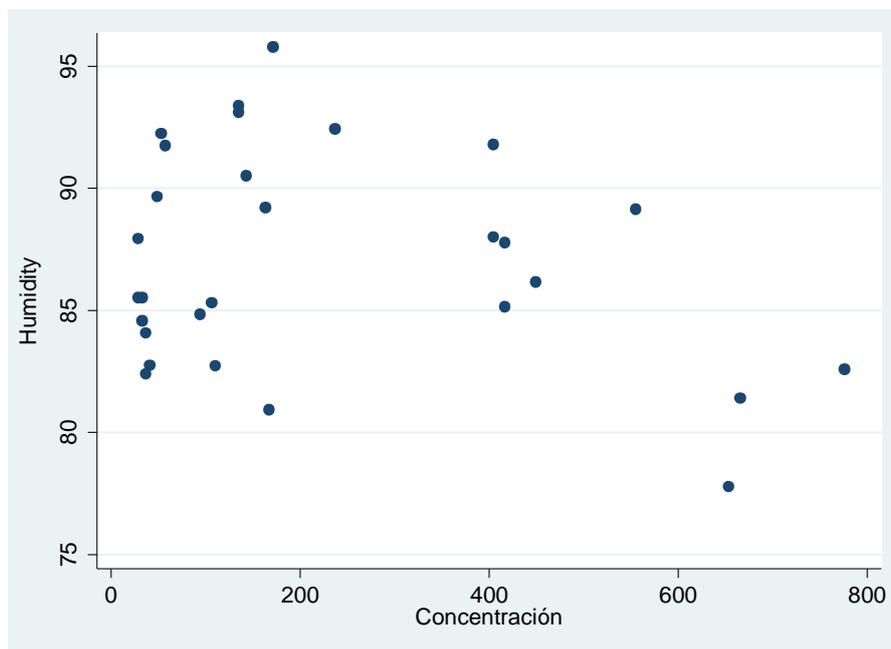
Gráfica 1. Dispersión entre niveles Temperatura y Concentración (PM_{10}), para todo el periodo de análisis.



La gráfica 1 muestra la relación bivariada entre PM_{10} y temperatura, para todo el periodo de análisis, observándose de manera ligera la **relación directa** entre ambas variables, pero claramente mostrando concentraciones diarias mayores a $400\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ y menores a $150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta tendencia sugiere considerar el análisis por temporada: Zafra y NO – Zafra con el objetivo de verificar esta tendencia.

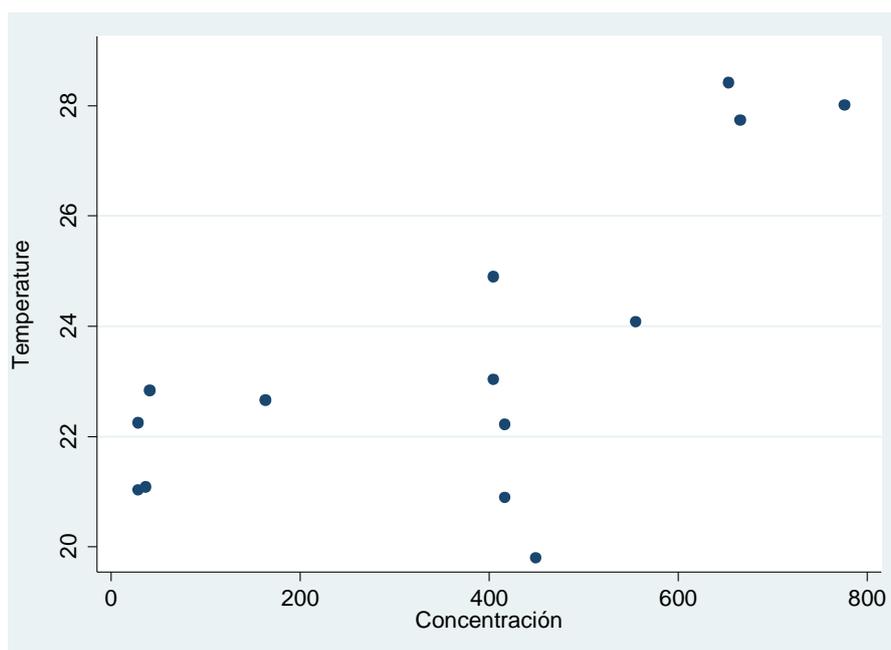
Evaluación de partículas menores a $10\ \mu$ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

Gráfica 2. De dispersión entre niveles Humedad y Concentración (PM_{10}), para todo el periodo de análisis.



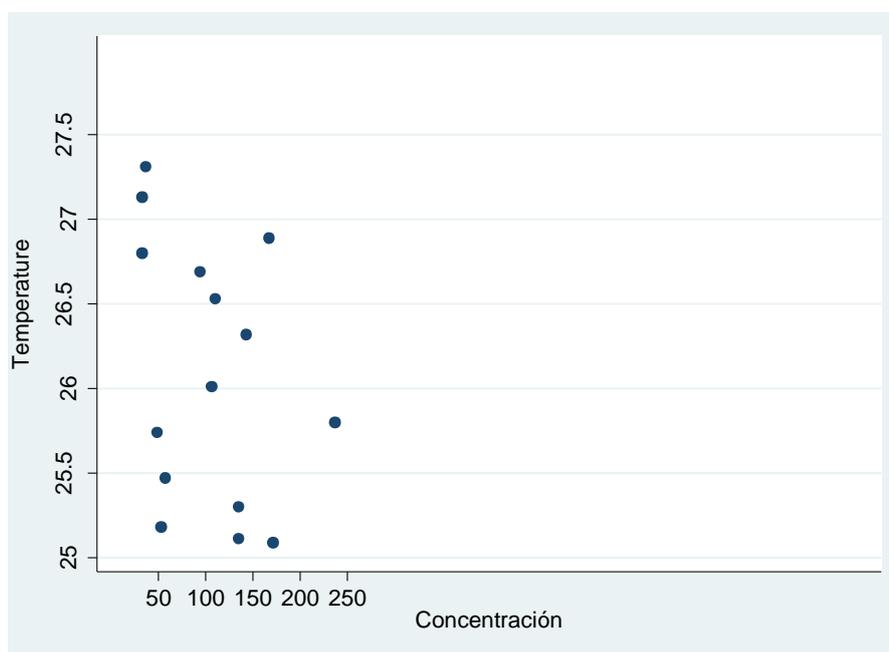
Respecto a la relación entre humedad y Concentración (PM_{10}), en la Gráfica 2 se observa una relación inversa entre ambas, en el siguiente sentido: conforme los valores promedio de porcentaje diario de humedad disminuyen, los valores diarios de PM_{10} también disminuyen, aunque no en la misma proporción. Nuevamente, se sugiere un análisis por *temporada*.

Gráfica 3. Dispersión entre Temperatura ($^{\circ}C$) y Concentración (PM_{10} , $\mu g/m^3$), temporada de Zafra.



Al replicar la Gráfica 1 considerando únicamente los promedios diarios en temporada de Zafra se obtienen las tendencia mostradas en la Gráfica 3, donde, de manera clara, la relación directa entre ambas variables, Temperatura y Concentración (PM_{10}) se acentúa, es decir, en temporada de Zafra, los mayores niveles diarios de PM_{10} se relacionan con mayores niveles de temperatura. Asimismo, se observan concentraciones diarias extremas de PM_{10} de hasta $800\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

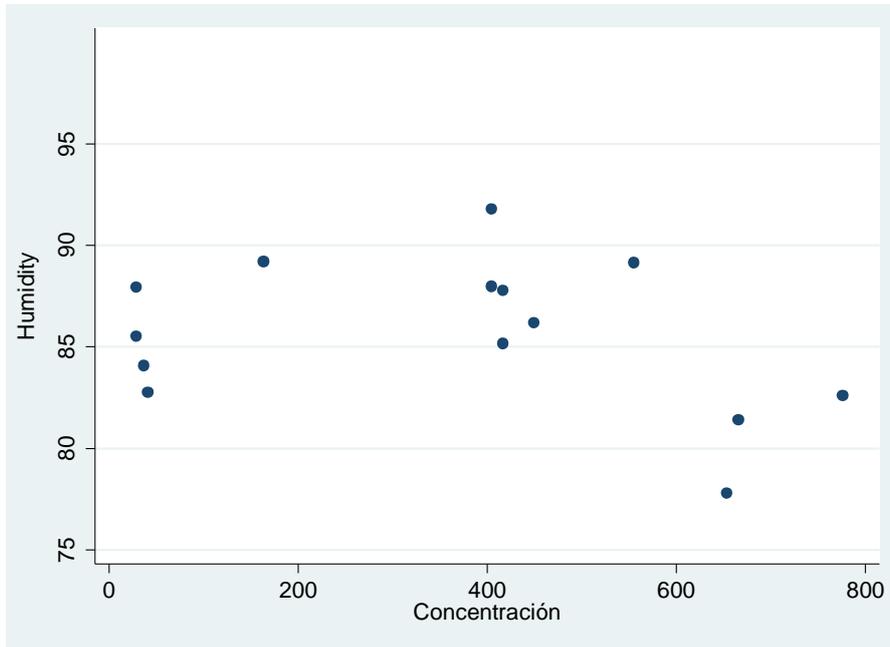
Gráfica 4. Dispersión entre Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y Concentración (PM_{10} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$), temporada de NO Zafra.



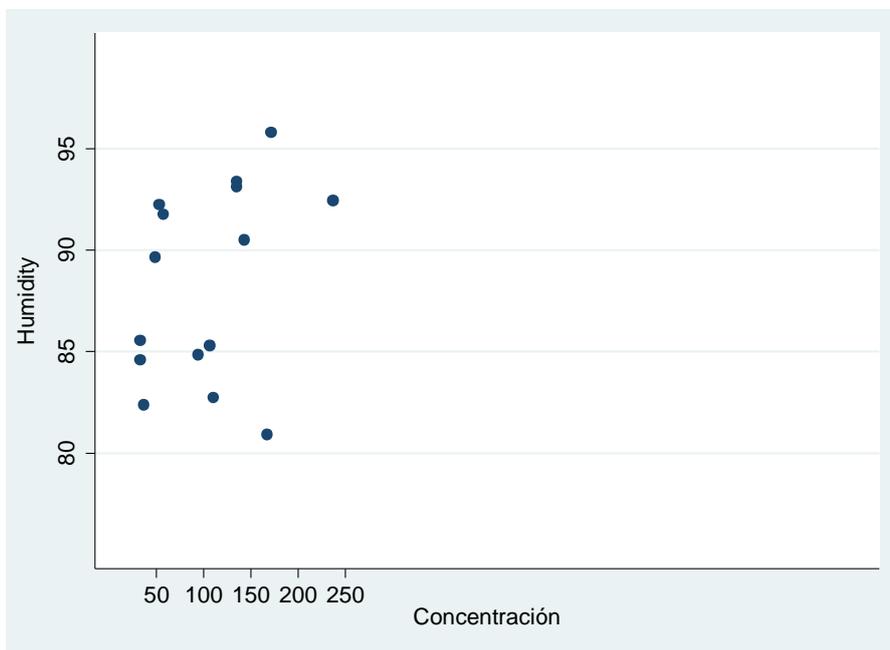
En la Gráfica 4, se muestra la dispersión entre promedios diarios de Temperatura y Concentración para la temporada de NO Zafra, sin observarse tendencia alguna entre ambas. Sin embargo, es claro que las concentraciones diarias de PM_{10} no rebasaron los $200\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ mostrando diferencias significativas respecto a la temporada de Zafra.

Evaluación de partículas menores a $10\ \mu$ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

Gráfica 5. Dispersión entre Humedad (%) y Concentración (PM_{10} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$), temporada de Zafra.



Gráfica 6. Dispersión entre Humedad (%) y Concentración (PM_{10} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$), temporada de No Zafra.



Respecto a la potencial relación directa o inversa entre Humedad y Concentración (PM_{10}), la gráfica 5 corresponde a la dispersión bivariada entre los promedios diarios de ambas variables en temporada de Zafra, mientras que la Gráfica 6 presenta la misma relación entre los promedios diarios, pero en temporada de No Zafra. Una ligera tendencia directa se observa en temporada de Zafra, sin ser significativa, mientras que durante la No-zafra, no se observa tendencia alguna que permita sugerir algún tipo de relación entre ambas variables.

CAPÍTULO VIII. DISCUSIÓN

Un alto número de Estudios en México han reportado altos niveles de contaminación, principalmente, en las zonas más pobladas, como la Ciudad de México, Monterrey y Toluca. Al mismo tiempo, uno de los aspectos metodológicos más importantes en los Estudios que involucran variables referidas a niveles de contaminación es la recolección de los datos, considerando que el área cubierta con los equipos de muestreo debe cubrir un área representativa de área total de estudio.

Este trabajo de tesis mantuvo esta constante metodológica, es decir, la recolección de la información se llevó a cabo considerando puntos de muestreo estratégicamente ubicados en los poblados de Pucté y Javier Rojo Gómez, obteniendo datos sobre concentraciones diarias de PM_{10} generadas en la producción de caña de azúcar del Ingenio Azucarero San Rafael Pucté. Asimismo, en medios electrónicos, se obtuvo información sobre variables meteorológicas como temperatura y humedad. Sin embargo, tales concentraciones no son totalmente atribuibles a las emisiones de PM_{10} de la planta azucarera, sino que existen otras fuentes de emisión primarias en los poblados, tales como la emisión de contaminantes por automóviles, el polvo y la quema de leña. A pesar de ello y dados los altos niveles de PM_{10} obtenidos, los resultados sugieren totalmente, debido a las diferencias entre concentraciones durante la zafra y la no – zafra, que la mayor parte de la concentración de PM_{10} proviene de la planta Azucarera.

Para cumplir con el objetivo específico 1, se determinó la exposición diaria a PM_{10} en los poblados de Pucté y Javier Rojo Gómez utilizando filtros de celulosa, sometiéndolos a un proceso de secado a peso constante. La información sobre concentraciones diarias de temperatura y humedad fueron obtenidas directamente en la página electrónica del INIFAP. Con esta base de datos, se analizó la distribución de cada variable utilizando estadísticos descriptivos y estratificando por temporada de zafra y de no–zafra. Los resultados mostraron incrementos significativos en la temporada de zafra teniendo el valor máximo para esta de $776.14\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ y como mínimo $28.59\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo ambos datos se encuentran dentro de la temporada de zafra, para el promedio de concentración en zafra es de $360.06\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ significativamente mayor que el promedio en la temporada de no zafra, que es $104.31\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, como se observa en la tabla 2.

Este fenómeno se clarifica con mayor énfasis en la tabla 7, donde se observa que el dato mínimo de concentración se encuentra en el poblado de Pucté, poblado que se encuentra más alejado de la planta. Esta mayor lejanía adquiere sentido al observar que el valor de PM_{10} llega en bajas concentraciones a dicha población.

Respecto al poblado de Javier Rojo Gómez, el más cercano a la planta, el punto número uno de muestreo recibió la mayor concentración de PM_{10} durante todo el periodo de muestreo, comparado con todos los puntos de muestreo restantes. Estas diferencias representan mayor evidencia a favor de que los incrementos significativos de PM_{10} en ambos poblados sean debidos al ingenio azucarero y sus actividades.

Por otro lado, información relativa a las actividades de los habitantes de ambos poblados indica que su principal actividad es la producción del campo, en los cuales se realizan plantíos de hortalizas, y principalmente de caña de azúcar. Asimismo, ambas poblaciones invierten en esta actividad, sin embargo, el proceso de quema de los cultivos para secar la caña y pueda ser cortada, afecta a ambos poblados por tener cerca algunos cultivos de caña, A este hecho en ambos poblados se añade un constante tránsito vehicular conformado por camiones de carga utilizados para trasladar grandes toneladas de caña, al Ingenio San Rafael de Pucté. Estas actividades se realizan durante la temporada de zafra, y sin duda, incrementan las emisiones de PM_{10} , tal como lo muestran los datos recolectados en el estudio y los resultados descriptivos.

Considerando las altos niveles de PM_{10} , resultado de las actividades de quema y traslado de caña descritas en el párrafo previo, se procedió a estimar el *riesgo por la exposición a PM_{10}* durante la época de Zafra en grupos etáricos de 0 – 6 años, de 6 – 12, así como en adultos y trabajadores de la planta. Con estos cálculos se alcanzó el objetivo 2 de este trabajo.

Mediante el *análisis de riesgo*, se encontraron valores significativamente altos de índices de riesgo en ambos poblados, sin embargo, la población con una mayor afectación es Javier Rojo Gómez, la más cercana a la planta Azucarera, donde también se observaron las mayores concentraciones de PM_{10} (tabla7).

Al analizar los riesgos por grupo etárico, en los niños de 0-6 se encontró un Índice de Riesgo de 5.12 en la temporada de zafra. Este fue el valor más alto en todo el periodo de análisis. Más aún, para el mismo grupo etario, en la temporada de NO zafra, el riesgo

calculado fue 1.56, rebasando de igual manera el límite máximo permitido, sugiriendo un potencial efecto crónico en los niños de 0 a 6 años de edad en ambos poblados y mostrando que este es el grupo etario más vulnerable. Estudios al respecto, pueden ser llevados a cabo, con el objetivo de cuantificar tal efecto crónico, otros factores que pueden influir y sus potenciales consecuencias en la salud.

Respecto al grupo de trabajadores de la planta Azucarera, el promedio de Índice de Riesgo calculado durante la temporada de zafra fue 1.268 y en la temporada de no zafra, este valor descendió a 0.378, siendo menor comprándolo con los Índices de Riesgo calculado para los grupos etarios de niños de 6-12 años y adultos. Es decir, el riesgo de los trabajadores de la planta Azucarera al exponerse a las emisiones de PM_{10} de la misma, es muy leve o nulo. Cabe mencionar que en el año 2009 se realizó un estudio de PM_{10} en el poblado de Javier Rojo Gómez, dentro de la industria azucarera y los resultados obtenidos demostraron, que en efecto no existe riesgo alguno para los trabajadores de la planta, ni se rebasan los límites permisibles, según NOM-035-SEMARNAT-1993. Este nulo riesgo de los trabajadores se atribuye al hecho de que se encuentran dentro de la planta, mientras que las emisiones que genera la industria se dirigen a la población. Además se tiene conocimiento de que durante el estudio realizado en el año 2009 el Ingenio contaba con paraciclonos, que son filtros para minimizar las emisiones de PM_{10} . Actualmente, la planta ya no cuenta con ellos.

Como dato adicional, en el poblado de Pucté se observó variación significativa en los puntos de muestreos 1 y 2, comparando las temporadas de zafra y no zafra. Este hecho se vio reflejado en los niveles de concentración de PM_{10} e Índices de Riesgo calculados para la temporada de zafra, ya que ambos se incrementaron significativamente, respecto a la temporada de NO zafra. Esta información resalta pues Pucté es el poblado más alejado del Ingenio Azucarero, de los dos incluidos en el trabajo, sugiriendo que variables como la dirección del viento y su velocidad dirigen las altas concentraciones hacia dicho poblado.

Para verificar si alguna covariable de entre las consideradas, temperatura o humedad, se asocia con las concentraciones de PM_{10} , se procedió a alcanzar el objetivo 3 de este trabajo, realizando análisis bivariados presentados con diagramas de dispersión. Los resultados del análisis bivariado sugieren una relación directa entre promedios diarios de temperatura y niveles diarios de PM_{10} , para todo el periodo de análisis, es decir,

mayores niveles de temperatura se asocian con los mayores niveles de PM_{10} . Esta tendencia se acentúa en la Temporada de Zafra, observándose niveles de hasta $800\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ asociándose con temperaturas mayores a 26°C . Este fenómeno ha sido también verificado en otros estudios, tal como lo señala el INEEC (2009), al estudiar la relación entre ambas variables en la Zona Metropolitana del Valle de México. Asimismo, esta relación se explica debido a que el PM_{10} es material particulado, y no un gas como el Ozono, que a temperaturas altas reacciona.

Paralelamente, el análisis bivariado sugiere una leve relación inversa entre humedad y concentración de PM_{10} . Es decir, mayores niveles de porcentaje de humedad se asocian con bajas concentraciones de partículas. Este fenómeno puede explicarse ya que la humedad ocasiona la aglomeración de las partículas y esto causa su sedimentación y por consiguiente se obtiene una menor concentración.

CAPÍTULO IX. CONCLUSIÓN

Los resultados de este Proyecto demuestran que ambas poblaciones, Javier Rojo Gómez y Pucté, se encuentran expuestas a altos niveles de contaminación por PM_{10} , provocando un claro riesgo a la salud de sus habitantes.

Determinar la exposición a partículas en ambos poblados, Pucté y Javier Rojo Gómez, (objetivo específico 1), permitió determinar concentraciones diarias de éstas y realizar un análisis de su distribución mediante estadísticos descriptivos. En particular, el análisis estadístico general de PM_{10} , indicó que el poblado con mayor afectación fue Javier Rojo Gómez, por encontrarse junto a la industria azucarera, mientras que el poblado de Pucté recibe la menor cantidad de contaminación, sin embargo, el riesgo para sus habitantes es alto, como se hace ver más adelante. Este hecho, junto con la alta concentración obtenida en el punto uno de muestreo en el poblado de Javier Rojo Gómez, se puede atribuir a ciertas variables no consideradas como son la dirección del viento y el arrastre de éste hacia esa parte de la población.

La segunda meta trazada de este trabajo refirió a la estimación de riesgos por exposición a PM_{10} para el total de la población, y por grupo etario, mostrando que el grupo más vulnerable corresponde a niños de 0-6 años de edad en ambos poblados. Este hecho apoya con mucho mayor énfasis los resultados de otros Estudios realizados en México, los cuales consideran a este grupo etario como aquel con una mayor susceptibilidad a la contaminación.

Los Índices de Riesgo en la zona (ambos poblados), sugieren fuertemente una relación entre ciertos tipos de enfermedades y las emisiones de PM_{10} de la planta Azucarera ya que de acuerdo con los resultados obtenidos, en ambos poblados se rebasan los límites máximos permisibles para este contaminante, y más aún, se plantea un potencial efecto crónico en los niños del poblado de Pucté, que se encuentra más alejado de la Industria Azucarera, con un índice de Riesgo de 1.56 durante la temporada de NO zafra.

Un resultado relevante de este Proyecto se obtuvo al alcanzar el tercer objetivo de este trabajo: el análisis bivariado de datos, que asocia positivamente altas temperaturas con altos niveles de PM_{10} en ambos poblados, en ambas temporadas, siendo más clara esta tendencia durante la temporada de Zafra. Tanto Pucté como Javier Rojo Gómez, están situados en la zona sur del Estado, en los límites con Belice, zona que,

cronológicamente, ha presentado temperaturas promedios mayores a 23°C durante la temporada de Primavera y mayores a 31°C durante el Verano, las más altas del Estado. De esta manera, si altas temperaturas se asocian con altos niveles diarios de PM_{10} , y considerando que ambos poblados se encuentran en una zona que presenta altas temperaturas ($> 30^{\circ}\text{C}$), sumado a las emisiones de la Industria Azucarera, entonces en ambos poblados, no solamente se espera que los Riesgos presentados en este Proyecto se mantengan, sino que que se incrementen significativamente, puesto que, lo efectos del cambio climático apuntan a incrementos de hasta 1.5°C en los próximos 5 años para ciudades cercanas al Ecuador (McMichael, 1996)

Así, el impacto que se espera con este Trabajo de tesis, radica en que los distintos niveles de Gobierno concentren esfuerzos en elaborar en su caso, modificar políticas de mitigación minimizando el efecto del impacto ambiental en ambos poblados. Al mismo tiempo, se propone un Estudio análogo al realizado en este Trabajo de Tesis, en un periodo no mayor a 5 años, para conocer los efectos del potencial Plan de Mitigación.

Por lo que para este trabajo se proponen como una de las medidas de mitigación el uso de paraciclonas en el ingenio San Rafael de Pucté para disminuir la emisión de PM_{10} hacia al ambiente.

Como segunda medida de mitigación se propone reducir quema de caña dentro de la planta, esto se hace con el objetivo de generar combustible para alimentar las calderas y generar energía a través del bagazo de caña emitiendo PM_{10} y encontrar una fuente de energía alterna.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldunate P. (2006), “Los efectos de la contaminación atmosférica por PM₁₀ sobre la salud ciudad de La Paz- Bolivia” [en línea] Bolivia, disponible en : <http://www.ucbcba.edu.bo/Publicaciones/revistas/actanova/documentos/v3n2/v3n2.aldunate.pdf>
- Álvarez E. (2007), “*La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad?*” en Desarrollo y Sociedad [en línea] Bogotá, Colombia. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-35842007000100005&script=sci_arttext&tlng=pt
- Alves de Oliveira B. (2011), “Risk assessment of PM_{2.5} to child residents in Brazilian Amazon region with biofuel production” en ENVIRONMENTAL HEALTH, pp. 2-9.
- Asante-Dua k. (1993) *Hazardous Waste Risk Assessment*, Lewis, editorial Lewis Publisher.
- CECEL Ingenieros, (2010), “Reforzamiento de la Línea de Transmisión Centro Norte Medio en 500 kV”, [en línea] México, disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/estudios/EIAS%20%20electricidad/EIA/EIA%20CONSORCIO%20TRANSMANTARO%20ZAPALLAL%20TRUJILLO%2>
- Díaz L. (2002), “Manual de Producción de Caña de Azúcar”, Honduras, [en línea]. Disponible en: http://teca.fao.org/sites/default/files/technology_files/T1639.pdf

- Ecologistas en acción, (2006), “contaminación del aire y salud”, [en línea], disponible en: <http://www.ecologistasenaccion.org/spip.php?article5682>
- ED Cancado J. (2006), “*The Impact of Sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly*” en *Environ Health Perspectives*, Mayo 2006, [en línea] disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1459926/>
- Esparza R. y M. Campos, (2006). “Minimización de la contaminación ambiental en un Ingenio Azucarero”, Perú. Disponible en: http://www.infoindustriaperu.com/articulos_pdf/medioambiente/007.pdf
- Figueroa B. (2003). “Azúcar”, *Cofupro* [en línea]. Veracruz, disponible en: <http://www.cofupro.org.mx/cofupro/Publicacion/Archivos/penit11.pdf>
- H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco, (2010), “Enciclopedia de los Municipios de México ESTADO DE QUINTANA ROO” disponible en: http://tecnica.qroo.gob.mx/portal/documentos/Perfiles_Municipales/OTHON_P_BLANCO.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, (2005).” *Partículas Suspensas*” [en línea] México, disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/517/cap4.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, (2009). “Fuentes de contaminación del aire” [en línea] México, disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/calair-informacion-basica/537-calair-fuentes>

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, (2010).” *Los efectos en Salud por la Contaminación del aire*” [en línea] México, disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/394/cap4.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2012). Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geografia/default.aspx>
- Kato E. (2006), Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, “*Inventario de Emisiones* “ [en línea] Guanajuato, disponible en: <http://ecologia.guanajuato.gob.mx/sitio/ver?aire-limpio/inventarios-de-emisiones-a-la-atmosfera/Inventario+de+Emisiones+de+Contaminantes+Criterio/4>
- Kenneth W. y C. Warner, (1998), *Contaminación del aire*, LIMUSA, México, DF.
- López C. (2009), *Determinación de Partículas iguales o menores a 10 micras (Pm 10) en el Ingenio San Rafael de Pucté*. Tesis de licenciatura. México, División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo.
- Massachusetts Department of Environmental Protection, (2008), “technical update: *Characterization of Risks Due to Inhalation of Particulates by Construction Workers*” [en línea] Massachusetts, disponible en: <http://www.mass.gov/dep/cleanup/laws/inh0708.pdf>
- McMichael A.J., et. Al, (1996), “*Climate Change and Human Health*” Edition de WHO, pp. 32.
- Ojeda, J. (2012), “Perspectivas de la producción de azúcar en México, zafra 2012/13” en *El Economista*. 6 de noviembre 2012.

- Rojas L. (2007), “Partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles ¿hacen daño a la salud? ¿Qué hacer?” *Instituto Nacional de Ecología*. [En línea] México, disponible en:
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetas/422/particulas.html>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2008), “Índice Metropolitano de la Calidad del Aire” [en línea] México, disponible en:
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/compendio_2008/compendio2008/10.100.8.236_8080/ibi_apps/WFServlet9f10.html
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2013), “Inventario de emisiones” [en línea] México, disponible en
<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/InventarioNacionaldeEmisiones.aspx>

ANEXO 1

Las siguientes figuras muestran las emisiones de humo negro que genera la industria azucarera. Las fotos fueron obtenidas desde un punto de muestreo, en el poblado Javier Rojo Gómez.



Evaluación de partículas menores a $10\ \mu$ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté



ANEXO 2

A continuación se muestran figuras sobre el procedimiento para la recolección de datos de cada muestra. En la primera figura se observa el filtro con la absorción de PM_{10} en el muestreador de altos volúmenes Hi-Vol.



Como siguiente paso las bolsas donde se guardaba cada filtro fueron selladas, con su respectivo distintivo para llevarlo al laboratorio.



Evaluación de partículas menores a $10\ \mu$ en dos poblados cercanos al ingenio azucarero San Rafael de Pucté

La siguiente foto muestra los filtros obtenidos durante la investigación, y se puede apreciar la cantidad de contaminación que se emite en el poblado Javier Rojo Gómez al momento de hacer el muestreo.



Finalmente, la balanza en donde se realizó el peso constante de los filtros en el laboratorio.

