

UNIVERSIDAD
AUTONOMA
METROPOLITANA



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

“Caracterización de partículas y
determinación de sus fuentes en la Zona
Cañera de Córdoba, Veracruz”

*Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ciencias e
Ingeniería Ambientales*

Presenta:

Ing. Fernando Millán Vázquez

Asesores:

Dra. Violeta Mugica Álvarez

Dra. Brenda Liz Valle Hernández

Ciudad de México

Marzo 2017

ÍNDICE

1 Contenido

RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
1 INTRODUCCIÓN	13
Importancia de la caña en México.	13
Proceso de la caña.....	14
Corte en verde.....	19
Partículas atmosféricas	20
Aerosoles atmosféricos	20
Modelo receptor	21
Metales pesados	23
2 JUSTIFICACIÓN.....	24
3 HIPÓTESIS	25
4 OBJETIVO GENERAL.....	26
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
5 ANTECEDENTES	27
Producción y principales ingenios alrededor del sitio de muestreo	27
Descripción de los sitios de muestreo.....	28
Meteorología de la zona de estudio	30
Impacto de las partículas en el ambiente y salud.	32
Quema de caña y repercusiones.	37
Consideraciones de quemar la caña y cortar en verde.....	37
Aerosoles atmosféricos y su influencia en el clima.....	39
Metales contenidos en partículas respirables	40
Efecto en la salud de metales pesados	41
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	42
Biotransformación en el cuerpo.....	45
El Modelo de Receptor CMB	46
Fundamentos del modelo Receptor.....	47
Perfil de emisión de la fuente	49
6 ESTADO DEL ARTE	50
7 METODOLOGÍA.....	51

Sitios de muestreo.....	51
Preparación de los filtros.	53
Análisis de muestras.....	54
Concentración de partículas	55
Extracción de los HAP's.....	56
Evaluación de la técnica de extracción.	58
Análisis y cuantificación de HAP's.....	58
Cuantificación.....	59
Determinación de carbono orgánico y elemental.	59
Método óptico	60
Análisis elemental para aplicar al modelo receptor:	61
Digestión de la muestra.	61
Determinación de iones	63
8 RESULTADOS.....	65
Concentración de partículas.	65
Segundo muestreo Colpos Sin Zafra.	66
Muestreo en El Palacio Municipal durante la Zafra.	67
Muestro en El Palacio Municipal en temporada Sin Zafra.	68
Estadística y comparación de resultados.	69
Concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos	71
Potencial cancerígeno de las partículas	75
Concentraciones de CO y CE.	77
Cuantificación de carbono negro por método óptico.....	82
Composición elemental de las partículas.....	84
Aplicación del Modelo CMB.	86
9 CONCLUSIONES	91
10 RECOMENDACIONES:	93
11 REFERENCIAS.....	94
ANEXOS:	100

Tabla de Contenido

Figura 1. Estados productores de caña	13
Figura 2. Etapas de maduración de la caña	14
Figura 3. Ciclo convencional de la caña de azúcar	15
Figura 4. Quema de los campos de caña de azúcar	16
Figura 5. Cortadores de Caña de Azúcar	16
Figura 6. Corte manual de caña en verde	19
Figura 7. Diagrama para utilizar el modelo receptor CMB.	22
Figura 8. Distribución de los ingenios azucareros alrededor de Córdoba Veracruz.	27
Figura 9. Fuentes representativas en el primer punto de muestreo.	28
Figura 10. Fuentes representativas en El Palacio.	29
Figura 11. Topografía típica de Veracruz	30
Figura 12. Rosa de vientos con velocidades y direcciones promedio mensual en 2015.	31
Figura 13. Comparación entre un cabello y partículas PM ₁₀ y PM _{2.5}	33
Figura 14. Penetración de una partícula al aparato respiratorio en función a su diámetro aerodinámico. .	34
Figura 15. Radiación absorbida y reflejada por gases y partículas.	40
Figura 16. Estructura de HAP's modificada de	44
Figura 17. Representación de la ruta metabólica del Benzo [a] pireno en los Humanos.	45
Figura 18. Sitios de muestreo en Córdoba Veracruz.	51
Figura 19. Equipos colocados en Colpos Córdoba, Veracruz	52
Figura 20. Equipos colocados en el Palacio Municipal.	52
Figura 21. Filtros de teflón	53
Figura 22. Filtros de cuarzo (Hivol y Minivol).	53
Figura 23. Balanza utilizada para filtros de cuarzo.	54
Figura 24. Microbalanza utilizada para filtros de 47mm de teflón.	54
Figura 25. Corte de filtros.	56
Figura 26. Aforado final de la muestra.	57
Figura 27. Extracción y evaporación de HAP's.	57
Figura 28. CG acoplado a un EM de masas HP 5973.	59
Figura 29. Equipo SUNSET LABORATORY para determinar Carbón Orgánico y elemental.	60
Figura 30. Equipo Óptico SootScan para la medición de carbono orgánico y carbono negro.	60
Figura 31. Muestras utilizadas para la digestión y lixiviados.	61
Figura 32. Parrilla para evaporar muestras.	61
Figura 33. Matraz para aforar la muestra.	62
Figura 34. Separación de las muestras para lectura en ICP.	62
Figura 35. Equipo utilizado para medir análisis elemental de las muestras.	63
Figura 36. Recipientes utilizados para medir lixiviados.	63
Figura 37. Equipo para medir iones de NH ₄ presentes en los lixiviados.	64
Figura 38. Concentración de partículas en Zafrá para PM ₁₀ y PM _{2.5} en el sitio Colpos.	65
Figura 39. Concentración de partículas en Sin Zafrá para PM ₁₀ y PM _{2.5} en el sitio Colpos.	66
Figura 40. Precipitación pluvial normal mensual (mm) en Colpos 2015.	67
Figura 41. Concentración de partículas PM _{2.5} en Zafrá para el sitio "El Palacio".	68
Figura 42. Concentración de partículas PM _{2.5} en temporada de Sin Zafrá para el sitio "El Palacio".	68
Figura 43. Comparación de concentraciones en PM ₁₀ y PM _{2.5}	69
Figura 44. Comparativo de concentraciones promedio HAP en Colpos PM ₁₀	72
Figura 45. Comparativo de concentraciones promedio HAP en Colpos PM _{2.5}	73
Figura 46. Comparativo de concentraciones promedio HAP en El Palacio PM _{2.5}	73

Figura 47. Concentración $PM_{2.5}$ Zafra de CO y CE en Colpos.	77
Figura 48. Concentración $PM_{2.5}$ Sin Zafra de CO y CE en Colpos.....	77
Figura 49. Concentración en Zafra PM_{10} de CO y CE en Colpos.	78
Figura 50. Concentración Sin Zafra PM_{10} de CO y CE en Colpos.	78
Figura 51. Concentración $PM_{2.5}$ durante Zafra de CO y CE en El Palacio.....	79
Figura 52. Concentración $PM_{2.5}$ en temporada Sin Zafra de CO y CE en El Palacio.	79
Figura 53. Relación de CN y CE en $PM_{2.5}$ en Colpos.....	82
Figura 54. Relación de CN y CE en PM_{10} en El Palacio.	82
Figura 55. Caracterización promedio de $PM_{2.5}$ en temporada de Zafra en Colpos.	84
Figura 56. Caracterización promedio de PM_{10} en temporada de Zafra en Colpos.	84
Figura 57. Contribución de fuentes en Colpos para la temporada de Zafra.	87
Figura 58. Contribución de fuentes en Colpos para la temporada de Sin Zafra.....	88
Figura 59. Contribución de fuentes en El Palacio para la temporada de Zafra.	89
Figura 60. Contribución de fuentes en El Palacio para la temporada de Sin Zafra.	89

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de partículas según su diámetro aerodinámico.	20
Tabla 2. Resultados de la zafra en Córdoba Veracruz.	27
Tabla 3. Variables meteorológicas en Córdoba	31
Tabla 4. Composición encontrada en partículas PM ₁₀ y PM _{2.5}	33
Tabla 5. Límites máximos permisibles en la Ciudad de México y en otros países.	35
Tabla 6. Tabla IMECA utilizada para reportar la calidad del aire en la Ciudad de México	36
Tabla 7. Comparación de la norma de partículas 2006-2014.	36
Tabla 8. Aspectos importantes entre cosecha manual vs mecanizada	38
Tabla 9. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos más comunes	42
Tabla 10. Principales fuentes generadoras de HAP's	43
Tabla 11. Cualidades y defectos del modelo receptor CMB.	46
Tabla 12. Archivos de entrada y de salida para el modelo receptor CMB.	46
Tabla 13. Estado del arte.....	50
Tabla 14. Condiciones de operación para el análisis de de HAP's CG-EM	58
Tabla 15. Parámetros de optimización utilizados.	63
Tabla 16. Comparación en concentración µg/m ³ en temporada de Zafra con otros estudios.	65
Tabla 17. Estadística básica de concentraciones de partículas en Colpos y El Palacio.	69
Tabla 18. Concentraciones promedio de HAP's en pg/m ³	71
Tabla 19. Estadística básica de las concentraciones de HAP's	72
Tabla 20. Datos de efectos de los HAP's. Modificada de.	74
Tabla 21. HAP's con diferencias significativas por temporada.....	75
Tabla 22. Potencial cancerígeno en BAPEq.....	76
Tabla 23. Estadística básica para CO, CE y CT en Colpos y El Palacio.	80
Tabla 24. Concentración de CE en PM _{2.5} durante la temporada de Zafra.....	80
Tabla 25. Comparación estadística de SootScan y Sunset en µg/m ³	82
Tabla 26. Composición Promedio en temporada de Zafra y Sin Zafra para PM _{2.5} y PM ₁₀	85
Tabla 27. Estadística del programa CMB para ambos sitios de muestreo.	86
Tabla 28. Perfil de emisión utilizado en Colpos y El Palacio.	87
Tabla 29. Contribución por tipo de fuente en porcentaje.....	90

Abreviaturas

µg/l	Microgramo por litro
µm	Micrómetro
t	Toneladas
µg/m ³	Microgramo por metro cúbico
pg/m ³	Picogramo por metro cúbico
ha	Hectárea
Km	Kilómetro
HAP	Hidrocarburo Aromático Policíclico
EPA	Environmental Protection Agency
ACE	Acanafteno
2MET	2-Metilnaftaleno
ACN	Acenaftileno
NAP	Naftaleno
FLU	Fluoreno
FEN	Fenantreno
ANT	Antraceno
FLT	Fluoranteno
PIR	Pireno
BAA	Benzo [a] antraceno
CRI+TRY	Criseno + Trifelineno
BBF	Benzo [b] fluoranteno
BK,JF	Benzo [k,j] fluoranteno
BAP	Benzo [a] pireno
IND	Indeno [1,2,3-cd] pireno
DBA	Dibenzo [a,h] antraceno
BGP	Benzo [ghi] perileno
NOM	Norma Oficial Mexicana
SSA	Secretaria de salud
CO	Carbono Orgánico
CE	Carbono Elemental
CN	Carbono Negro
CT	Carbono Total
IMECA	Índice metropolitano de la calidad del aire
l/min	Litros por minuto
PM _{2.5}	Partículas con diámetro aerodinámico menor ó igual a 2.5 micrómetros
PM ₁₀	Partículas con diámetro aerodinámico menor ó igual a 10 micrómetros
CMB	Chemical Mass Balance (Balance Químico de masa)
TEF	Factor de Equivalencia Tóxica
BAPEq	Benzo [a] pireno equivalente
λ	Longitud de onda
ATN	Atenuación óptica

A Osilia Ortiz Nieto, que siempre vivirá en mi corazón

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de este proyecto.

A mis asesoras la Dra. Violeta Mugica Álvarez y la Dra. Brenda Liz Valle Hernández por su entrega y total apoyo para la realización de esta tesis.

Al Doctor Francisco Hernández Rosas y a todos los integrantes del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba por todas las atenciones brindadas para este trabajo.

A la Doctora Mirella Gutiérrez Arzaluz y los integrantes del laboratorio del G-Bis por su apoyo y préstamo de equipos.

A la IQI. Becki Jiménez Gatica del INECC Iztapalapa por el tiempo dedicado.

Al Dr. Xavier Querol del IDAEA-CSIC en Barcelona, España por el préstamo de instalaciones y equipos.

A mi amiga Naxielli Santiago de la Rosa por la enseñanza de los muestreos.

Al Dr. Adolfo Hernández Moreno por la enseñanza transmitida a lo largo de la maestría.

A todos los profesores que ayudaron en mi formación profesional.

Dedico este logro a mis padres Eduardo Millán Ortiz y Lydia Vazquez Gerardo que me apoyaron durante toda mi carrera.

Mi esposa, amiga y fiel acompañante a lo largo de estos años Patricia González Rangel que siempre sabía cómo sacar una sonrisa y quien más sufriera los días pesados a mi lado.

A mis abuelos Felipe Millan y Carlos Melquiades por sus consejos y valiosa compañía.

Mis hermanos, Luis A. García Vázquez, Héctor E. García Vázquez, Alejandro Millán Vázquez y Eduardo Millán Vázquez les agradezco sus consejos y apoyo al estar siempre a mi lado.

A mi cuñada Beatriz Zamora, porque siempre ha sido como una hermana para mí, a mis sobrinas y sobrinos Guadalupe, Enid, Dana, Valentina, León, Gael, Fernando y Santiago.

A mis Tíos Ricardo, Patricia, Carmela, Silvia, Teresa, Leticia, Guadalupe, Angélica, y Alejandro que me han visto y cuidado como a un hijo.

A mis primos Luis, Jessica, Brenda, Angélica, Fabiola, Karla, Cesar, Alejandra y Verónica que son como mis hermanos.

A mis suegros Leticia Rangel y Miguel A. González por su apoyo incondicional.

A mis amigos de la vida, Miguel, Ismael, Marco, Ana, Efraín, Karen, Gabriela y Román.

A mis amigos de la UAM-Azc que conocí a lo largo de la maestría Natalia, Gabriela, Adriana, Ilse, Eder, Omar, Alejandro, Rodolfo, José Jair, Juan, Daniel, Marcos y Naye.

A todas las personas que se involucraron directa o indirectamente en las campañas de muestreo y a lo largo de la maestría.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad el estudio de la problemática ocasionada por el proceso agroindustrial de la quema de la caña en Córdoba Veracruz, ya que este proceso impacta negativamente a la salud y ambiente de esta ciudad. Por lo que se realizaron campañas de muestreo durante un año donde se consideró la temporada de Zafra (quema de los cañaverales para facilitar el corte de la caña) en la que se llevan a cabo los procesos para el tratamiento de la caña y posterior producción de azúcar, así como la de Sin Zafra, donde los procesos de quema se suspenden.

El estado de Veracruz es un gran productor de azúcar que cuenta con 18 de los 49 ingenios que se encuentran en la República Mexicana. Así mismo, la industria azucarera representa una gran fuente de ingreso económico para las familias aledañas.

La colecta de partículas se realizó con equipos de bajo y alto volumen (MiniVol con un flujo de 5 l/min y HiVol con un flujo de 1132 l/min), en los que se colocaron filtros de cuarzo y de teflón donde se retuvieron las partículas contaminantes $PM_{2.5}$ y PM_{10} .

Para conocer la calidad del aire las concentraciones se determinaron posteriormente en el laboratorio de Química atmosférica de la UAM-Azcapotzalco y se realizó la caracterización de partículas; determinando las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos, carbono elemental y carbono orgánico presentes en las partículas.

Posteriormente se determinó la composición elemental de las partículas en el laboratorio del CSIC en Barcelona, España. Las concentraciones totales se introdujeron en el modelo de receptor (CMB), con la finalidad de identificar y cuantificar la contribución de las fuentes de emisión de $PM_{2.5}$ y PM_{10} de las zonas de colecta de partículas.

ABSTRACT.

The present work has as a purpose the study of the problems caused by the agroindustrial process of the burning of sugarcane in Córdoba Veracruz, since this process has a negative impact on the health and environment of this city. Therefore, sampling campaigns were carried out during a year during the Zafra season (burning of cane fields to facilitate the cutting of sugarcane) and during the No Zafra season, processes that are carried out for the treatment of the cane and later Production of sugar.

The state of Veracruz is a large sugar producer with 18 of the 49 sugar mills that are in the republic, and the sugar industry represents a great source of economic income for the surrounding families.

Particle collection was carried out with low and high volume equipment (MiniVol with a flow of 5 l/min and HiVol with a flow of 1132 l/min), using filters of quartz and Teflon where the particles of $PM_{2.5}$ and PM_{10} were retained.

The concentrations were subsequently determined in the laboratory of Atmospheric Chemistry of the UAM-Azcapotzalco characterize and particles were characterized determining the concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons, elemental and organic carbon present in the atmosphere.

Subsequently, elementary composition of the particles was determined in the CSIC laboratory in Barcelona, Spain. The total concentrations were introduced in the receptor model (CMB), with the purpose of identifying and quantifying the contribution of $PM_{2.5}$ and PM_{10} emission sources from the particle collection area.

1 INTRODUCCIÓN

Importancia de la caña en México.

A nivel mundial, América tiene una producción de caña de azúcar del 54.1%, Asia del 39.2%, Oceanía del 1.6% África y Europa suman un 5% (FAOSTAT, 2014).

En México, la producción de caña de azúcar se realiza en 15 Estados de la República Mexicana, en donde existen las mejores condiciones naturales para su desarrollo (Figura 1) (SAGARPA, 2014).



Figura 1. Estados productores de caña (Barajas, 2014).

La producción de azúcar genera 442,087 empleos directos y trae beneficios indirectos a más de 2.2 millones de personas, es una actividad de alto impacto en 227 municipios en donde habitan 12 millones de personas, su importancia económica en el país es de gran relevancia ya que su valor de producción es de alrededor de 31.4 mil millones de pesos y alcanza una producción promedio de 48 millones de toneladas de caña de azúcar. A nivel mundial México ocupa el sexto lugar como productor de caña, cerca del 17% del Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario nacional lo aporta el sector de la Agroindustria de la Caña de Azúcar (Barajas, 2014). Se calcula que la producción de caña por hectárea es de alrededor de 68.4 t/ha en 784 mil ha, con un consumo per cápita de 40 kg/año/persona (SAGARPA, 2014).

En el estado de Veracruz la caña de azúcar constituye el primer cultivo y se siembra en 90 municipios del estado. Hasta 2014 Veracruz contaba con 22 de los 58 ingenios en México, con una superficie cosechada de 322,324 ha que representa el 40% de la producción nacional (SAGARPA, 2014). Córdoba se ha destacado a lo largo de los años como una de las regiones productoras de azúcar más importantes del estado de Veracruz donde, la industria de la caña representa un ingreso económico importante. El procesamiento de la caña de azúcar necesita lugares que cumplan con una demanda pluvial de 10,000 mm anuales. En la producción es importante la variedad de caña, el suelo en el que se cultiva, las prácticas de manejo que incluyen las dosis, épocas de aplicación de fertilizantes, y el grado de madurez para determinar la calidad del material producido, la cual se reconoce en el momento de la molienda por la cantidad de azúcar recuperable (Larrahondo, 1995).

Proceso de la caña

La caña de azúcar es una planta que crece en zonas tropicales y subtropicales que necesita abundante agua, tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura con 5 o 6 cm de diámetro. El tallo acumula un jugo que contiene del 16% al 27% de azúcares, 10 al 14% de fibra y 65 a 75% de agua, que al ser extraído y cristalizado forma azúcar. Esta planta se caracteriza por fijar grandes cantidades de CO₂ del aire para realizar su proceso de fotosíntesis, en la figura 2 se observa la etapa de crecimiento de la caña (Avivert, 2012).

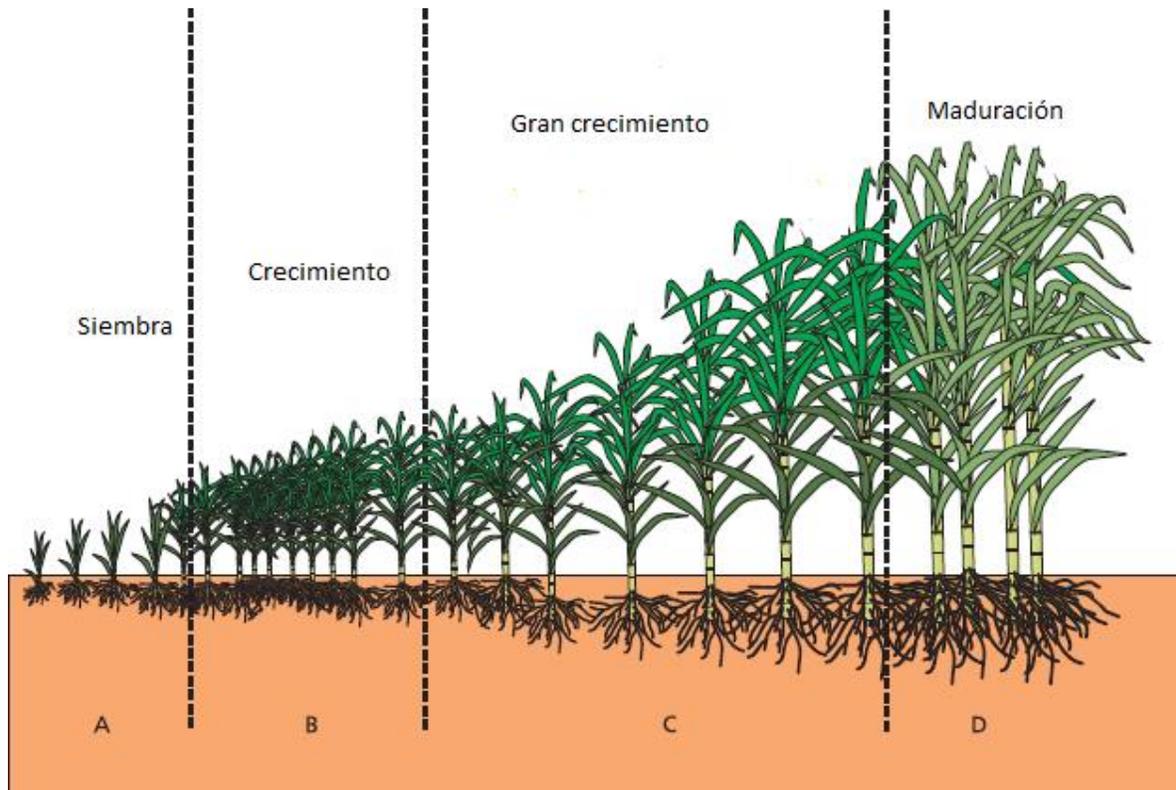


Figura 2. Etapas de maduración de la caña (Modificada de Avivert, 2012) (A. Siembra, B. Crecimiento, C. Gran crecimiento, D. Maduración).

La cosecha debe hacerse en la fase de maduración y mediante el empleo de una técnica adecuada, para obtener los rendimientos en cuanto a peso y por lo tanto cantidad de azúcar. Por otro parte, si la recolección se hace fuera de tiempo, es decir caña inmadura o sobre madura, provoca pérdidas en la producción de azúcar, debido a que se recupera un jugo de mala calidad. Por lo tanto debe considerarse lo siguiente (Sugarcanecrops, 2006):

- La caña debe cosecharse en su máximo estado de madurez, evitando cortar caña sobre madura o inmadura.
- El corte de la caña debe ser hasta el suelo, para cosechar los entrenudos inferiores ricos en azúcar, aumentando la producción y el rendimiento de azúcar.
- El despunte debe hacerse a una altura adecuada.
- La caña debe estar limpia, removiendo los cuerpos extraños, tales como hojas, basura, raíces, etc.
- La caña cosechada debe enviarse rápidamente al ingenio.

La Zafra (temporada de la cosecha de la caña) se realiza en los primeros 11 o 12 meses desde su plantación. Visualmente las hojas adquieren un color amarillo y comienzan a caer, los tallos dejan de desarrollarse y la corteza se vuelve quebradiza. Aquí se alcanza el punto ideal para realizar la quema (pre-cosecha), la cual se realiza con el fin de eliminar la maleza, las hojas de la caña secas y la fauna silvestre (principalmente insectos y serpientes) y facilitar el corte manual, lo que permite observar la base del tallo para un corte a ras. Por otra parte, la requema después de la cosecha se realiza para eliminar residuos orgánicos sobrantes. En la figura 3 se muestra el proceso convencional para la cosecha de caña de azúcar (Cabrera y Zuaznábar, 2010).

Durante el proceso agrícola de quemar la biomasa (Zafra) que se observa en la figura 4, se emiten partículas, aerosoles de carbono negro, monóxido de carbono, dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y precursores del ozono troposférico a la atmósfera (Santiago, 2014).

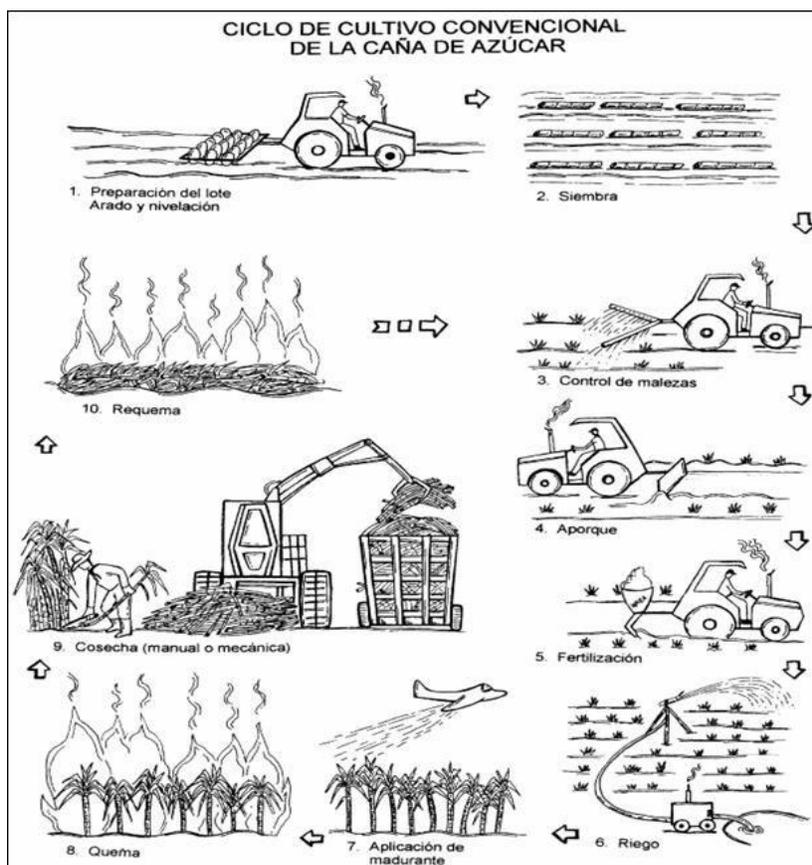


Figura 3. Ciclo convencional de la caña de azúcar (Santiago, 2014).



Figura 4. Quema de los campos de caña de azúcar (Paraquat, 2010).

Después de la quema los cortadores entran a los campos y cortan la caña para su traslado al ingenio (Figura 5).



Figura 5. Cortadores de Caña de Azúcar (Paraquat, 2010).

Las quemas precosecha y de residuos causan la degradación del suelo. Asimismo, cuando se quema la caña de azúcar se produce una serie de impactos ambientales negativos a la atmósfera, si bien la caña absorbe en gran medida el CO₂ presente en el ambiente, de igual forma lo regresa cuando es quemada a cielo abierto (Cabrera y Zuasnabar, 2010).

Al quemar la caña de azúcar se reducen los nutrientes del suelo perdiendo sus propiedades físicas. En la atmósfera se favorece la formación de óxidos nitrosos y óxidos de carbono, al momento de la combustión, el hollín producido durante la quema, es un componente que afecta la salud del hombre y empobrece el paisaje de la zona (Reyes y Navarro, 2004).

Las partículas emitidas durante la quema tienen efectos sobre la salud de las personas. Están relacionadas con las enfermedades respiratorias como la bronquitis y aumentar los efectos cardiovasculares de otras enfermedades (Carrera y Echeverría, 2010).

Al realizar la quema de biomasa se pueden formar (Gavidia Tania *et al.*, 2009):

- ✓ Monóxido de carbono (CO): Producto de la combustión incompleta de combustibles con carbono.
- ✓ Dióxido de Nitrógeno (NO₂): Formado a altas temperaturas al quemar gas natural y leña en países desarrollados y al quemar leña, parafina o kerosén y biomasa en países en desarrollo.
- ✓ Dióxido de Azufre (SO₂): Generado especialmente de la combustión de carbón, irrita el epitelio respiratorio.
- ✓ Benceno y HCHO: provenientes de biomasa en combustión.
- ✓ Metales pesados y fluoruros: Pueden ser emitidos por la combustión de carbón en algunas localidades.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son compuestos que se forman durante la combustión incompleta de biomasa. Están formados por 2 o más anillos bencénicos. Algunos de ellos están considerados como cancerígenos y/o mutagénicos (Colon, 2014). El fenantreno y antraceno son los HAP's que se emiten en mayor concentración durante la quema de caña de azúcar, y el pireno es un trazador de la hierba quemada (Andrade *et al.*, 2010).

La exposición de los humanos a los HAP's merece una especial atención debido a la asociación de estos con los diferentes tipos de cáncer (Agudelo y Texeira, 2014).

Las características de los agentes tóxicos perjudican el sistema respiratorio, donde se producirá el efecto y los efectos de la exposición. Dos principales características determinan este aspecto: la solubilidad en agua del agente tóxico y el tamaño de partícula (Gavidia *et al.*, 2009):

- ✓ Agentes tóxicos de alta solubilidad en agua como aldehídos, amoníaco, cloro y SO₂ tienen mayor probabilidad de afectar los ojos, nariz, faringe y laringe.
- ✓ Agentes tóxicos de mediana solubilidad en agua, como el ozono, afectarán las vías aéreas mayores (tráquea y bronquios).
- ✓ Agentes tóxicos de baja solubilidad en agua como NO₂ afectarán preferentemente a los bronquiolos y alvéolos.
- ✓ Partículas grandes sobre 10 µm de diámetro se depositan preferentemente en la nariz.
- ✓ Partículas gruesas entre 2.5 y 10 µm de diámetro probablemente se depositarán en tráquea y bronquios.
- ✓ Partículas finas de menos de 2.5 µm de diámetro probablemente se depositarán en bronquiolos y alvéolos.

- ✓ Partículas menores de 1 μm de diámetro, pueden ser exhaladas de nuevo por los adultos, pero tienen más probabilidad de depositarse en las vías aéreas más pequeñas de lactantes y niños menores.

No se tienen estudios del impacto ocasionado por las quemas de caña a las poblaciones aledañas a los cañaverales e ingenios en México, ni se ha determinado la contribución que el proceso de la caña tiene en la emisión de partículas atmosféricas, por lo que se propone utilizar un modelo receptor para determinar dicha contribución. Asimismo, se cuantificarán las concentraciones de los contaminantes en una zona rural de cañaverales y en la ciudad más cercana.

En Veracruz y en Chiapas se hicieron estudios piloto para determinar la presencia de partículas en épocas de Zafra y Sin Zafra. Las concentraciones reportadas durante la zafra superaron en todo momento lo indicado por la OMS para exposición máxima en 24 horas por partículas donde el muestreo tuvo una corta duración (15 días) donde no se utilizó el modelo CMB para conocer la contribución por fuente de contaminantes en la atmósfera (Ramos, 2014).

Corte en verde

La cosecha en verde, es decir la que se realiza sin quema, requiere variedades erectas de buen deshoje y con alto contenido de sacarosa para disminuir los efectos negativos de la materia extraña, esta labor exige la adecuación de los campos para garantizar la eficiencia de la maquinaria. Entre las labores que se deben tomar en cuenta están las siguientes:

- Juntar la tierra al pie de la planta para ayudar a crear surcos que mantengan la cosechadora alineada.
- Mayor longitud en los surcos para aumentar la eficiencia del corte.
- Disposición de canales de drenajes y riego que no obstruyan el paso de la cosechadora.

El manejo de residuos es quizá el punto más débil al realizar la cosecha de la caña en verde ya que los residuos frescos y húmedos, provenientes, tienen efectos fitotóxicos que reducen la germinación de la caña y las malezas, pero en época seca no afectan a la germinación (Cock, 2007).

La figura 6 muestra un ejemplo de cortar manualmente la caña en verde, donde se aprecia la falta de protección para los cortadores



Figura 6. Corte manual de caña en verde (Paraquat, 2010).

Partículas atmosféricas

Las partículas son uno de los principales problemas en cuanto a la contaminación del aire. Las partículas contienen una mezcla de sustancias que pueden ser sólidas, líquidas o gaseosas, de acuerdo a estas características varían en tamaño, composición y origen. Al mezclarse representan una compleja mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos donde se componen principalmente de (Chen *et al.*, 2001):

- ✓ Metales
- ✓ Aniones (Sulfatos, Nitratos, Cloruros)
- ✓ Hollín
- ✓ Material volátil

Las partículas se pueden clasificar por su tamaño aerodinámico de la siguiente manera (Tabla 1).

Tamaño de partícula.	Partículas con tamaño menor a 50 μm .
PM ₁₀	Partículas con diámetro aerodinámico menor a 10 μm .
PM _{2.5}	Partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 μm .
PST	Partículas que pueden alcanzar hasta 100 μm

Tabla 1. Clasificación de partículas según su diámetro aerodinámico.

Además, las partículas son emitidas por fuentes naturales y antropogénicas, siendo las antropogénicas las de mayor aportación. Desde el punto de vista ambiental y de salud pública, las partículas que más importan son las PM_{2.5}, también llamadas partículas finas, ya que pueden permanecer más tiempo en suspensión, y el acceso al sistema respiratorio es mucho más fácil que las PM₁₀, ya que estas precipitan con mayor facilidad (Chen *et al.*, 2001).

Aerosoles atmosféricos

Hablando en términos de contaminación atmosférica los aerosoles están constituidos por una mezcla de partículas de origen tanto orgánico como inorgánico altamente complejo suspendido en el aire.

Una parte de los aerosoles es emitida a la atmósfera por fuentes primarias mientras que otra es formada como consecuencia de procesos secundarios de condensación en fase gas-partícula. Los aerosoles se clasifican según el tamaño de partícula siendo una clasificación general la que divide como partículas gruesas a todas aquellas que tienen un diámetro aerodinámico mayor o igual a 2.5 μm y partículas finas a las que tienen un diámetro menor a 2.5 μm de diámetro. En términos generales las partículas de origen biológico como el polen, esporas o material producido por la desintegración natural de la biomasa se encuentran en el rango de partículas gruesas, mientras que aquellas partículas producidas por la combustión de combustibles fósiles o de la biomasa se encuentran entre ambos intervalos. Las moléculas emitidas forman un estado coloidal con moléculas gaseosas presentes en la atmósfera. Debido a que los aerosoles atmosféricos se encuentran en la tropósfera suelen actuar como núcleos de condensación contribuyendo a crear cambios en los patrones de absorción y desorción de la radiación solar, o a participar en las complejas reacciones secundarias que ocurren en la atmósfera, y hablando en estos términos las

partículas de rango fino antes mencionadas se encuentran formadas principalmente de iones sulfato, amonio y nitrato así como también de partículas carbonáceas, que a excepción de la parte metálica gran parte de estos aerosoles no son emitidos directamente de sus fuentes naturales o antropogénicas, sino que aparecen como consecuencia de reacciones fotoquímicas secundarias que ocurren entre especies gaseosas precursoras, así como también por reacciones que ocurren sobre las partículas (Reyes y Navarro, 2004).

Modelo receptor

Los modelos utilizados para la calidad del aire son muy importantes en la toma de decisiones para crear políticas ambientales, ya que resulta útil utilizar un modelo que ayude a caracterizar las fuentes que contaminan, el modelo receptor de balance de masa de especies químicas CMB por sus siglas en inglés (Chemical Mass Balance) asume que las especies químicas que llegan al receptor desde una fuente se transportan conservando su masa, es decir, la suma de las especies medidas en el receptor es la suma de cada fuente individual (Reyes *et al.*, 1997).

La ecuación fundamental de los modelos de receptor (ecuación 1) deriva de la ecuación de la conservación de masa y expresa la relación entre la concentración del aerosol medido en el receptor y aquella emitida por las fuentes.

Ecuación 1

$$C_i = \sum_{j=1}^J F_{ij} * C_j \quad (1)$$

$$C_i = F_{i1} * S_1 + F_{i2} * S_2 + F_{i3} * S_3 + \dots + F_{ij} * S_j$$

Donde:

C_i = Concentración de la especie "i" medida en el sitio receptor

i = Especie química i = 1, 2, ...I

j = Fuente que contribuye j = 1, 2, ...J

F_{ij} = Fracción de las emisiones de la especie "i" a partir de la fuente "j" (proporcional a la masa)

S_j = Impacto al receptor (contribución calculada) de la fuente "j".

El CMB consiste en una solución por mínimos cuadrados, que expresa la concentración de cada especie química en el sitio receptor como una suma lineal de productos, mostrando de esta manera el perfil de cada fuente. La concentración de cada especie química se obtiene como un porcentaje del total de la masa emitida, formando una huella particular para cada fuente (perfil de emisión). El modelo proporciona tres salidas primarias, las cuales son:

1. Estimación de la contribución de fuentes (SCE), que se incluyeron en el ajuste.
2. Los errores estándar de estas contribuciones (STDERR).
3. Las concentraciones calculadas (CALC) de las especies químicas utilizadas en el ajuste.

Además, existen tres parámetros estadísticos que se utilizan para evaluar las concentraciones calculadas de las especies incluidas en el ajuste:

1. Porcentaje de masa total explicada por el ajuste (%MASS), $100.0 \pm 20.0\%$
2. R2, estadístico que mide la varianza en las concentraciones ambientales (0.8 a 1.0)
3. Chi2, estadístico que considera la incertidumbre en la concentración calculada de las especies

(0.0 a 4.0).

Los métodos de receptor incluyen la interpretación de mediciones físicas y químicas de contaminantes ambientales (como partículas y COV's) y sus precursores para poder inferir las posibles o probables fuentes y cuantificar la contribución de estas. Para lograr atribuir a una fuente una emisión es necesario determinar la composición química de las partículas como es el caso de este estudio (Mugica *et al.*, 2011).

La figura 7 muestra un diagrama para obtener la contribución de las fuentes:

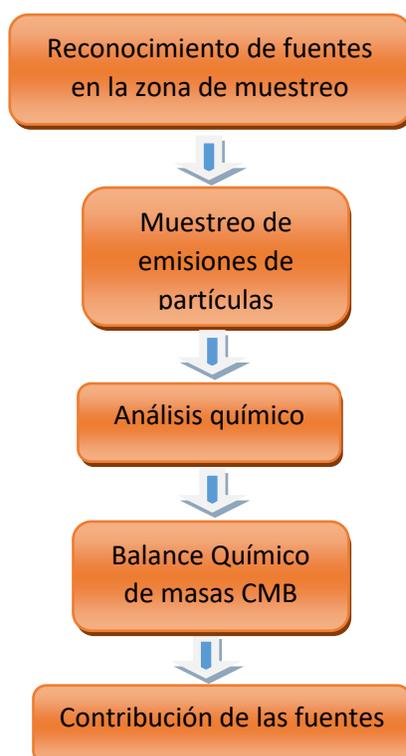


Figura 7. Diagrama para utilizar el modelo receptor CMB.

Los métodos receptores son utilizados para:

- ✓ Identificar fuentes potenciales.
- ✓ Cuantificar la contribución de las fuentes a las concentraciones ambientales.
- ✓ Desarrollar y refinar modelos conceptuales entre fuente-receptor.
- ✓ Evaluar y mejorar los inventarios de emisiones.

La exitosa aplicación de estos modelos depende en gran medida de la calidad de las mediciones, la disponibilidad de información respecto a los perfiles de las fuentes (Gutiérrez, 2007).

Metales pesados

Los metales presentes en las partículas son de gran importancia para la salud; se incluyen cerca de 70 elementos que tienen mayor peso atómico que el sodio y con gravedad específica superior a 5.01 g/ml, de los cuales, pocos son de interés como contaminantes atmosféricos. Su importancia radica en la concentración y en el estado de oxidación que presentan cuando se muestran como contaminantes del aire. Estos son algunos de los metales importantes a nivel atmosférico (Segura y Arriaga, 2003):

- ✓ Plomo
- ✓ Mercurio
- ✓ Arsénico
- ✓ Cadmio
- ✓ Níquel
- ✓ Radón, Vanadio y otros metales pesados.

2 JUSTIFICACIÓN

El estado de Veracruz es uno de los principales productores a nivel nacional de caña de azúcar, representando un ingreso económico muy importante para las familias, pero también un problema de salud por la grande emisión de contaminantes liberados a la atmósfera. Determinar la concentración y caracterización de partículas a la que se encuentra expuesta la población en Córdoba durante la temporada de Zafra y Sin Zafra, así como las especies contaminantes presentes como hidrocarburos aromáticos policíclicos, carbono orgánico y carbono elemental ayudará a conocer el impacto que involucra la cosecha y producción de la caña de azúcar.

3 HIPÓTESIS

La exposición de la población a partículas atmosféricas y tóxicos ambientales se incrementa más de 2 veces durante la época de zafra, y con modelos receptores (CMB) es posible conocer las fuentes que las generan, y conociendo las variables meteorológicas su posible dispersión.

4 OBJETIVO GENERAL

- ❖ Determinar la concentración de partículas a las que se encuentra expuesta la población de Córdoba Veracruz, debido al proceso de la caña y determinar su contribución a la contaminación utilizando modelos de receptor, realizando un muestreo a largo plazo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una campaña prolongada de muestreo de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ durante 1 año en la ciudad de Córdoba Veracruz.
- Determinar la concentración de partículas.
- Determinar la contribución a la emisión de partículas por el funcionamiento de los ingenios y las quemadas de caña, en un sitio urbano y uno rural, utilizando un modelo tipo receptor (CMB).
- Analizar la concentración de tóxicos en las muestras de partículas colectadas.
- Determinar la exposición de los habitantes de Córdoba a partículas atmosféricas y a tóxicos presentes en ellas.

5 ANTECEDENTES

Producción y principales ingenios alrededor del sitio de muestreo

Alrededor del centro de Córdoba Veracruz se encuentran 7 ingenios:

1. Central El Potrero, Central Progreso, San Miguelito, El Carmen, San Nicolás, Central Providencia y San José de Abajo.

La Figura 8 muestra la distribución alrededor del centro de Córdoba.



Figura 8. Distribución de los ingenios azucareros alrededor de Córdoba Veracruz.

- ● Sitio 1 llamado “Colpos” ubicado en el Km.348 de la Carretera Federal Córdoba-Veracruz, Congregación Manuel León Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz (Sitio rural).
- ● Sitio 2 llamado “El Palacio” ubicado en la Calle 1 s/n, entre la Av. 1 y 3, Col. Centro, C.P. 94500 Córdoba, Veracruz (Sitio Urbano).

La producción de caña cosechada por los principales ingenios se muestra en la Tabla 2

Ingenio	Inicio de Molienda	Fin de Molienda	Días de Zafra	Horas de Zafra	Caña molida neta (t)	Superficie de caña cosechada (ha)
1	5-Dic-14	28-May-15	174	4,165	1,541,892	25,742
2	4-Dic-14	8-May-15	155	3717	778909	13788
3	3-Dic-14	20-May-15	168	4,023	492,088	7,189
4	9-Ene-15	25-May-15	136	3265	269969	4121
5	11-Dic-14	17-May-15	157	3,672	852,216	13,029
6	26-Nov-14	17-May-15	172	4,137	859,022	17,065
7	01-Ene-15	25-May-15	144	3,468	298,819	5,595

Tabla 2. Resultados de la zafra en Córdoba Veracruz. (SAGARPA, 2014).

Descripción de los sitios de muestreo

El primer sitio seleccionado en “Colpos” cuenta con diferentes fuentes a sus alrededores mostrados en la figura 9:

- — Carretera Córdoba-Boca del Rio a menos de 200m de distancia (línea amarilla).
- 🛢 Gasolineras a 1.5 km y 0.6 km
- 🏭 Almacenes de acero a 0.6 km,
- 🏭 La empresa Fischer S.A. de C.V. que se dedica a la fabricación de plásticos a 700m
- 🏭 La empresa Schott de México S.A. de C.V. dedicada a la fabricación de vidrio.

Para el sitio Colpos estas son las fuentes más representativas, en conjunto con parcelas de caña que son quemadas en la temporada de Zafra existen pequeños negocios a los alrededores de comida, tortillerías y negocios de comida como posibles fuentes de contaminación, en la siguiente imagen se muestra la cercanía de las fuentes.

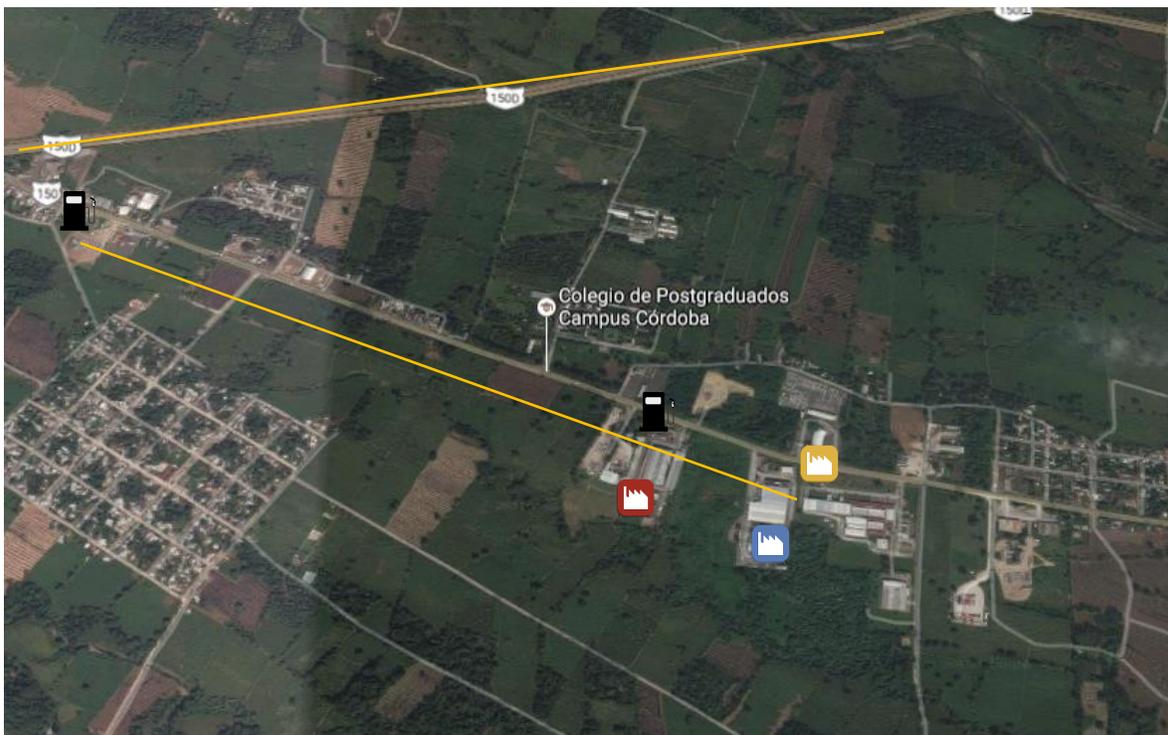


Figura 9. Fuentes representativas en el primer punto de muestreo.

El segundo Sitio en Córdoba fue “El Palacio”, ubicado en el centro de la Ciudad con una Población de 218, 153 habitantes (INEGI, 2015). Existen pequeños negocios de comida, zapaterías etc. Otras fuentes más representativas se muestran en la figura 10.

- ✓  Sitio de muestreo “El Palacio”.
- ✓  Cervecería CASA GARCIA S.A. de C.V. a 2 km.
- ✓  Elaboración de aceites y grasas vegetales comestibles INDUSTRIAL PATRONA S.A. DE C.V. a 3 km de distancia.
- ✓  Ingenio San Miguelito dedicado a la elaboración de azúcar a 3.7 km de distancia.
- ✓  KFC Kentucky Fried Chicken
- ✓  Calera Córdoba PYCSA ubicada en el Km. 343.5 de la Carretera México-Veracruz.
- ✓ Distribuidora de Granos Arcos S.A. de C.V. a 8.2 km de distancia.
- ✓ Circulan vehículos automotores a gasolina.
- ✓ Camiones diésel.



Figura 10. Fuentes representativas en El Palacio.

Meteorología de la zona de estudio

2,500 mm. y la temperatura media varía de 18° a 22° C. La figura 11 muestra la topografía típica de Veracruz. Los datos proporcionados por el INIFAP indican que Veracruz está ubicado en una zona tórrida, su clima es cálido en toda la costa, pero debido al relieve de sus suelos tan variados se tienen varios climas. Córdoba tiene un clima semi-cálido y húmedo, con una altura de aproximadamente 860 m.s.n.m. donde las características físicas favorecen el desarrollo de climas semicálidos húmedos. La precipitación total anual fluctúa de 2,000 a más de Veracruz.

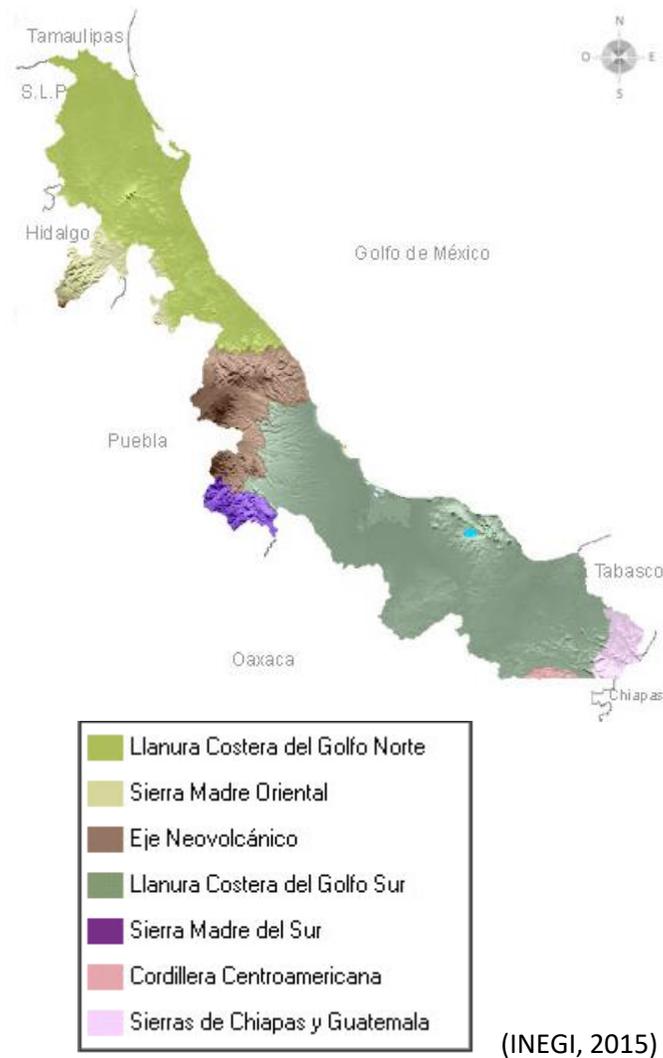


Figura 11. Topografía típica de Veracruz

A lo largo del muestreo predominaron distintas direcciones y velocidades de viento medidas en la estación meteorológica Paso del Macho en Córdoba, Veracruz para el año 2015, las cuales se muestran en la tabla 3 y en la figura 12.

Mes	Dirección de Viento (Grados azimut)*	Velocidad de Viento * (Km/h)	Precipitación pluvial + (mm)	Humedad relativa * (%)
Enero	Sureste	0.80	47.40	82.98
Febrero	Sureste	0.83	9.80	77.89
Marzo	Este	0.82	57.60	81.48
Abril	Sureste	1.42	42	73.29
Mayo	Oeste	1.31	21.60	76.62
Junio	Noreste	0.66	312.80	40.69
Julio	-	-	-	-
Agosto	Norte	1.02	113.20	57.92
Septiembre	Suroeste	0.61	164.60	80.81
Octubre	Suroeste	0.44	62.20	81.08
Noviembre	Suroeste	0.36	59.40	82.80
Diciembre	Sur	0.46	4	77.85

Tabla 3. Variables meteorológicas en Córdoba *Promedio, +Acumulado (INIFAP, 2015).

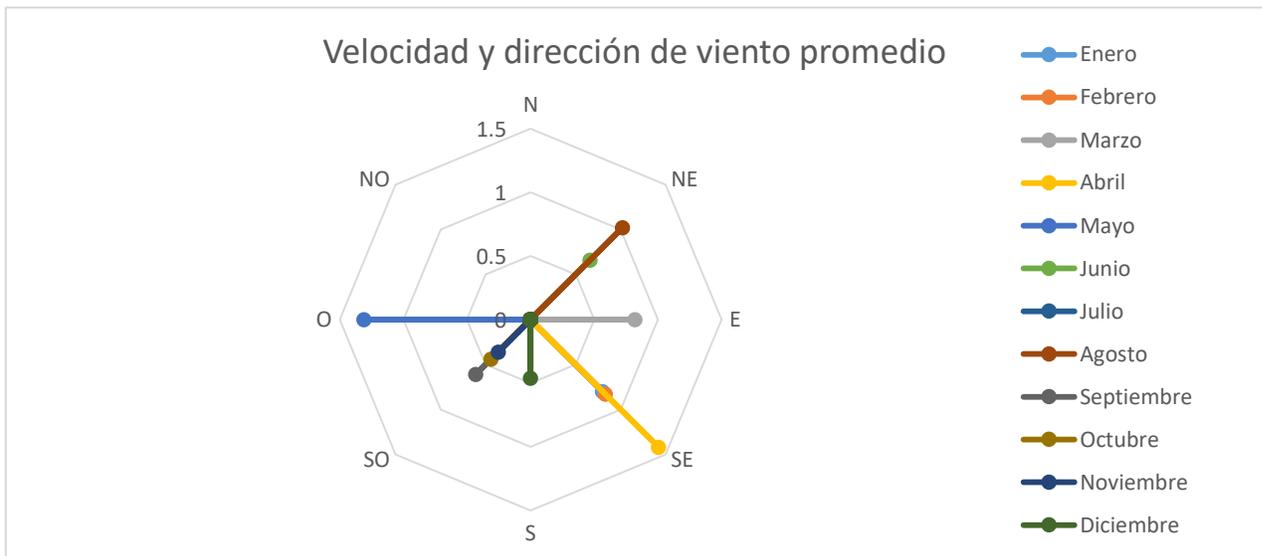


Figura 12. Rosa de vientos con velocidades y direcciones promedio mensual en 2015.

La humedad relativa en promedio fue mayor al 75% y con alta precipitación pluvial. La lluvia ayuda a limpiar el aire al precipitar las partículas y estuvo presente en varios días de muestreo.

Impacto de las partículas en el ambiente y salud.

La capacidad de renovación y recuperación del ambiente y los recursos naturales se han visto afectados por la contaminación atmosférica. La salud de la población está en riesgo o ya ha sido afectada debido a la presencia de los contaminantes atmosféricos. Entre los principales contaminantes están las partículas atmosféricas las cuales con frecuencia rebasan los límites permisibles de la norma vigente.

Los efectos nocivos de las partículas suspendidas no se limitan al aparato respiratorio, sino que pueden dañar otros sistemas como el cardiovascular. Estos efectos pueden ser inmediatos o presentarse después de varios días de exposición a esos contaminantes. Uno de los efectos más importantes es la mortalidad asociada a la exposición de partículas, se describió en 1952 en los estudios realizados en Londres (Albert y Flores, 2004).

Para la concentración $PM_{2.5}$ un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ demuestra que en personas mayores a 65 años se registra un incremento de 1.6% en las muertes diarias. Para PM_{10} se ha encontrado una relación de 2.9% de incremento en la mortalidad para personas que eran atendidas en una unidad médica y las que no eran atendidas representaban el 4.1%, para estos estudios se observa que los efectos más importantes se presentan de 3 a 5 días después de la exposición (DOF, 2005).

Los contaminantes del aire se clasifican en primarios y secundarios, los primarios son emitidos a la atmósfera, por fuentes de origen natural o debidos a las actividades humanas (Segura y Arriaga, 2003).

Las partículas primarias que son emitidas directamente de la fuente propician la formación de partículas secundarias que se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas a partir de la presencia de materiales gaseosos llamados precursores. Los principales gases precursores de las partículas son el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles y el amoníaco, los cuales forman partículas de sulfatos y nitratos principalmente, así como partículas suspendidas secundarias orgánicas derivadas de la oxidación fotoquímica de los compuestos orgánicos (INECC, 2011).

Una amplia variedad de especies químicas están presentes en la atmósfera, las cuales se exponen durante el día a la luz solar, luz ultravioleta (cerca de 90 kcal/mol) y luz infrarroja (menor a 1 kcal/mol), que son capaces de formar radicales libres y nuevas especies, por reacciones térmicas y fotoquímicas (Cruz y Moleón, 2003).

Los contaminantes se dividen en sustancias orgánicas e inorgánicas, los compuestos orgánicos están formados principalmente por carbono, hidrogeno y oxígeno, aunque también pueden contener nitrógeno y azufre.

Los compuestos inorgánicos comprenden a todas las sustancias que no contienen carbono, exceptuando monóxido de carbono y dióxido de carbono, carbonatos, bicarbonatos, carburos y cianuros (Segura y Arriaga, 2003).

La OMS en 2013 en su centro de investigaciones para el cáncer determinó que la contaminación del aire exterior en ciudad es carcinógena para el ser humano y que las partículas del aire

contaminado están relacionadas con la alta incidencia de cáncer, especialmente el cáncer de pulmón (OMS, 2011).

En la naturaleza las partículas se suspenden o forman por muchos procesos, tales como el viento, polinización de plantas e incendios forestales. Las principales fuentes antropogénicas de pequeñas partículas incluyen la quema de combustibles sólidos como la madera y el carbón, las actividades agrícolas como la fertilización, almacenamiento de granos, la quema de caña de azúcar y la industria de la construcción. Las partículas no sedimentan en periodos cortos, permanecen suspendidas debido a su tamaño y densidad, son una mezcla de elementos químicos y/o biológicos, debido a su tamaño forma y composición variada y se han clasificado en términos de su diámetro aerodinámico el cual corresponde al diámetro de una esfera uniforme en unidad de densidad que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y que está determinado por la forma y densidad de la partícula (Suárez y Augusto, 2012).

En la figura 13 se muestra una comparación de tamaños entre un cabello humano y las PM_{10} y $PM_{2.5}$.

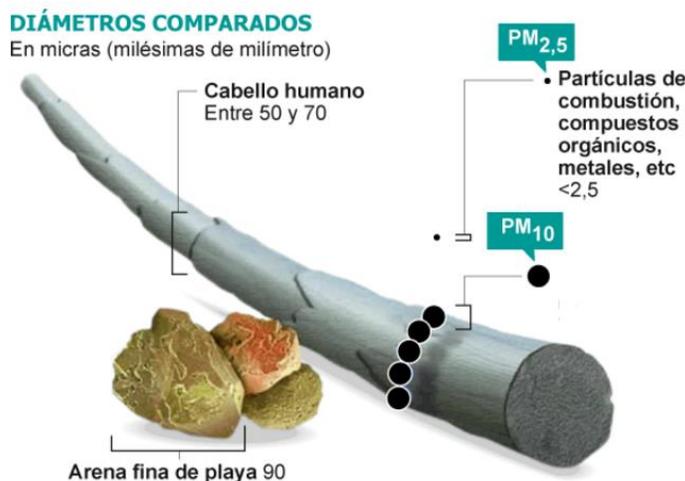


Figura 13. Comparación entre un cabello y partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ (Fuente Revista Sociedad, 2014).

Un ser humano inhala cada día alrededor de 15-18 Kg (11,000 a 14,000 L.) de aire. Uno de los principales agentes contaminantes de la calidad del aire son las partículas, la quema de la caña de azúcar se traduce en humo y ceniza, la cual es fragmentada y transportada en el ambiente. Existe una composición típica que ha sido medida en partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ donde se encontraron contaminantes como los que se muestran en la Tabla 4 (Aldunante *et al.*, 2006).

Tamaño de Partícula	PM_{10}	$PM_{2.5}$
Composición encontrada	Hierro, Aluminio, Calcio, Sodio Silice, Cloruro y polvo mineral	Sulfatos, Nitratos, Amonio, Plomo, Cadmio, Carbón (Orgánico, Negro y Elemental).

Tabla 4. Composición encontrada en partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Se ha informado que la quema de biomasa para sitios rurales es responsable a nivel mundial de aportar el 40% de CO₂, 32% de CO, 20% de partículas atmosféricas y el 50% de Hidrocarburos aromáticos policíclicos en procesos de quema incompleta (Curtis *et al.*, 2002).

Las partículas son removidas de la atmósfera con diferentes procesos, como la sedimentación y la precipitación, pero es el tamaño de la partícula lo que decide el tiempo de residencia, el tamaño resulta muy importante ya que entre más pequeño es el diámetro aerodinámico de la partícula ingresará con mayor facilidad al aparato respiratorio. La figura 14 muestra la capacidad de penetración por diámetro de partícula (INECC, 2001).

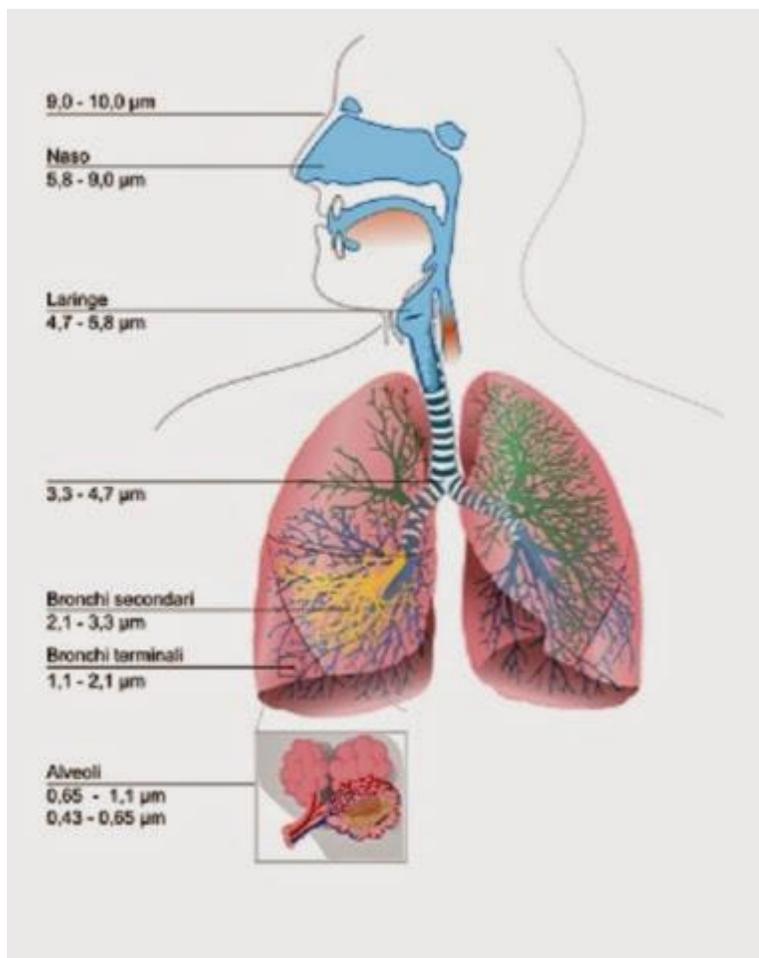


Figura 14. Penetración de una partícula al aparato respiratorio en función a su diámetro aerodinámico (Fuente Revista sociedad, 2014).

La contaminación ambiental es un problema mundial, las investigaciones al respecto se han realizado a lo largo de los cinco continentes, hallando resultados muy similares en todos los casos. Por ejemplo, en Chile se estableció una relación positiva y fuerte entre los altos niveles de concentración de partículas PM_{2,5} y el padecimiento de bronquitis en niños (Pino *et al.*, 2004).

Por otro lado, un aumento de la humedad relativa genera una disminución de la concentración de PM₁₀, mientras que un aumento en la temperatura produce un incremento en la concentración de

este contaminante, es decir, las diferentes variables ambientales influyen en la concentración de PM_{10} en la atmósfera. Existe una relación positiva y significativa entre el PM_{10} y la morbilidad, los grupos de la población más afectados son los niños y los adultos mayores de sesenta años (Álvarez, 2007).

Las partículas atmosféricas se han clasificado como contaminantes criterio, lo que significa que se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. En la siguiente tabla se muestran los límites máximos permisibles para los contaminantes atmosféricos en la Ciudad de México (NOM-025-SSA1-2014) y la comparación con otros países (Tabla 5).

País	SO ₂	CO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	Pb
México	0.11 ppm diario	11 ppm en 8 hrs.	0.210 ppm, hora	0.095 ppm hora	75 µg/m ³ 24 horas	45 µg/m ³ 24 horas	1.5 µg/m ³ 3 meses
E.U.	0.14 ppm diario	9 ppm en 8 hrs.	0.053 ppm anual	0.12 ppm hora	150 µg/m ³ 24 horas	65 µg/m ³ 24 horas	1.5 µg/m ³ 3 meses
Colombia	0.28 ppm cada 3 horas	7 ppm en 8 hrs.	0.053 ppm anual	0.06 ppm hora	100 µg/m ³ 24 horas	50 µg/m ³ 24 horas	-

Tabla 5. Límites máximos permisibles en la Ciudad de México y en otros países.

En México, la calidad del aire es controlada y monitoreada por una red en conjunto que expresa los niveles de contaminación como IMECA (Índice Metropolitano de la Calidad del Aire) que es una herramienta analítica desarrollada para informar sobre los niveles de contaminación de manera fácil y oportuna a la población, de tal forma que funcione como un indicador de las medidas precautorias que debe tomar la población ante una contingencia atmosférica. El cálculo del IMECA consiste en transformar e integrar los datos de las concentraciones de un grupo de 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 un valor de 100 puntos. La tabla 6 indica los valores IMECA relacionados con la calidad del aire (SEMARNAT, 2005).

Categoría	Intervalo	Mensaje	Significado	Recomendaciones
BUENA	0-50	Sin riesgo	La calidad del aire es satisfactoria y existe poco o ningún riesgo para la salud.	Se puede realizar cualquier actividad al aire libre.
REGULAR	51-100	Aceptable	La calidad del aire es aceptable, sin embargo, en el caso de algunos contaminantes, las personas que son inusualmente sensibles, pueden presentar síntomas moderados.	Las personas que son extremadamente sensibles a la contaminación deben considerar limitar los esfuerzos prolongados al aire libre.
MALA	101-150	Dañina a la salud de los grupos sensibles	Quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos en la salud. El público en general usualmente no es afectado.	Los niños, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben limitar los esfuerzos prolongados al aire libre.
MUY MALA	151-200	Dañina a la salud	Todos pueden experimentar efectos en la salud; quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos graves en la salud.	Los niños, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben evitar el esfuerzo prolongado al aire libre. La población en general debe limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.
EXTREMADAMENTE MALA	>200	Muy dañina a la salud	Representa una condición de emergencia. Toda la población tiene probabilidades de ser afectada.	La población en general debe suspender los esfuerzos al aire libre.

Tabla 6. Tabla IMECA utilizada para reportar la calidad del aire en la Ciudad de México (CDMX, 2011).

La Norma Oficial Mexicana se modificó en 2014, haciendo más estrictos los límites máximos permisibles de partículas. La tabla 7 muestra los valores a los que la Ciudad de México se encuentra sometido como Límites máximos permisibles en partículas que participan en la determinación de la calidad del aire y como se modificó con respecto a la Norma de 2006.

Norma Oficial Mexicana	PM _{2.5}	PM ₁₀	PST
NOM-025-SSA1-2014	45 µg/m ³ , promedio 24 horas. 12 µg/m ³ , promedio anual.	75 µg/m ³ , promedio 24 horas. 40 µg/m ³ , promedio anual.	DEROGADA.
NOM-025-SSA1-1993 (publicada en 2006)	65 µg/m ³ Promedio de 24 horas. 15 µg/m ³ Promedio anual.	120 µg/m ³ Promedio de 24 horas. 50 µg/m ³ Promedio anual.	210 µg/m ³ Promedio de 24 horas.

Tabla 7. Comparación de la norma de partículas 2006-2014 (DOF, 2005).

Quema de caña y repercusiones.

El efecto de quemar la caña causa molestias, la rapidez y propagación del fuego, el ruido por la quema, la alta luminosidad, liberación de humo y cenizas. Desde un punto de vista ambiental, es considerada como altamente nociva para el ecosistema local y considerada factor de liberación de elementos tóxicos o contaminantes a la atmósfera y al mismo tiempo un generador de calor, lo que genera altas temperaturas en el ambiente (Oliveira, 1995).

La molestia que las cenizas ocasionan a las poblaciones cercanas, ha dado origen a fuertes críticas, ya que además de las manchas de hollín en todas las construcciones, la población en general (niños y adultos) se ha visto afectada en el aspecto de salud con una acentuada tasa de morbilidad del aparato respiratorio, siendo crítico el número de casos de asma, neumonía y bronquitis en los meses donde se presenta la zafra (Ramos, 2014).

En el estado de Aragua en Venezuela, para los meses de enero y febrero en 1990-1991 y 1991-1992 según el informe de epidemiología las enfermedades del aparato respiratorio ocupaban el primer lugar (28.53% del total) como causa de consultas para su distrito, donde el mayor caso de enfermedades lo ocupaba el asma.

Para el período 1990-1991 los registros para la época de zafra indican alta incidencia de bronquitis crónica para el distrito (72%), la neumonía y asma ocuparon 42 y 46% de los casos, y autores concluyen que las etapas de enfermedades respiratorias aumentan cuando hay zafra (Hernández, 1995).

En Piracaiba Brasil, se realizó un estudio donde se sondearon cerca de 673 hospitales con ingresos de niños y adultos mayores por enfermedades respiratorias, la cantidad de PM₁₀ se superó de 2 a 4 veces el límite establecido (50ug/m³), y al igual que Hernández en 1995, concluyen que estos incrementos tanto en PM₁₀ y PM_{2.5} están fuertemente asociados con la admisión a hospitales por enfermedades respiratorias, donde el 60% de los aerosoles finos es aportado por la quema de caña de azúcar, el segundo lugar lo ocupa un 14% que es la resuspensión de del polvo en el suelo (Cançado *et al.*, 2006).

Consideraciones de quemar la caña y cortar en verde.

El efecto de quemar caña sobre los rendimientos es difícil de cuantificar, en algunos sitios como Colombia, con el sistema tradicional de quema el tiempo desde el corte y la molienda llegaba a demorar hasta 50 horas. En recientes investigaciones en Colombia muestran que cada hora transcurrida después de la quema se pueden alcanzar pérdidas de sacarosa de hasta 0.4%, parte de lo cual se debe a pérdida de peso y rendimiento .En el valle de Cauca en Colombia se buscan nuevas tecnologías para la cosecha de la caña y ajustarlas a condiciones existentes como (Cock, 2007):

- ✓ Reducir los costos de producción para mejorar la competitividad en relación con otros países y zonas productoras de caña y azúcar.
- ✓ Tener alternativas ante la escasez paulatina de mano de obra.

- ✓ Desarrollar alternativas para el corte de caña en verde ante la dificultad de hacerlo manualmente.
- ✓ Estar preparados para el futuro inmediato para la cosecha en verde.
- ✓ Facilitar el manejo de residuos de cosecha en el campo.
- ✓ Explorar la posibilidad de utilizar parte de los residuos en la generación de energía en fábricas.

Durante el tiempo que dura la expansión de la cosecha mecanizada se cuida el aspecto social, técnico y económico derivado del sistema de corte. El corte mecanizado integral de la caña de azúcar está en función de las siguientes variables:

- ✓ Diseño de campo.
- ✓ Atributos del tipo de caña.
- ✓ Máquina cosechadora.
- ✓ Operario de la máquina.
- ✓ Mantenimiento de la máquina.
- ✓ Logística del corte y transporte.

En la Tabla 8 se muestran las ventajas y desventajas del corte mecanizado, manual y quema.

Variable	Cosecha Manual	Cosecha mecanizada
Materia extraña	En caña verde: 2-4% En caña quemada: 1.5-2%	En caña verde: 10-12% En caña quemada: 8-10%
Corte en verde	Mayor dificultad para el corte en verde.	Menor dificultad para el corte en verde.
Manejo de residuos	Difícil manejo de residuos del corte en verde.	Fácil manejo de los residuos del corte verde y quemado.
Tiempo de permanencia	25-40 horas	4-10 horas
Eficiencia corte/cosechadora	Caña semi-limpia: 2-4 ton/hombre/Día Caña quemada 5-7 ton/Hombre/Día	Caña semi-limpia: 24-25 ton/hora Caña quemada 26-28 ton/hora
Manejo de información	Complejidad por cada cortador (calidad, rendimiento, pago de nómina)	Fácil manejo de información
Otros	Supervisión continua para evitar accidentes, altos costos de labor.	Supervisión para revisar calidad de caña cosechada, mayor eficiencia al transportar, incrementa el 30% del peso por viaje, exige buenos terrenos para acceso, menor costo.

Tabla 8. Aspectos importantes entre cosecha manual vs mecanizada (Galviz, 2010).

Aerosoles atmosféricos y su influencia en el clima

Los aerosoles influyen en el clima de manera directa, absorbiendo la radiación solar, y de manera indirecta como núcleos de condensación en la formación de las nubes (Cuatecontzi y Gasca, 2004). Estos aerosoles son un componente más de la atmósfera. A pesar de que existen múltiples fuentes naturales de aerosoles, como la suspensión de sal marina y polvo por el viento, las erupciones volcánicas o la oxidación de compuestos volátiles liberados por las masas vegetales, la actividad humana ha aumentado enormemente las emisiones y concentración de partículas en la atmósfera. Intervienen en efectos sobre la tierra de gran importancia como la formación de nubes, una tierra sin nubes tendría un albedo (porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja con respecto a la radiación que incide sobre la misma), medio global del 15%, la mitad del 30% que tiene por efecto de las nubes. Ello supone que las nubes actúan como un parasol muy efectivo. Es cierto que las nubes también retienen calor que emana de la Tierra; es bien sabido que las noches despejadas suelen ser las más frías. Pero, en conjunto, domina el efecto parasol y las nubes ejercen un efecto enfriante estimado en unos -20 W m^{-2} en presencia de nubes en relación a cielos despejados. La quema de biomasa con fines agrícolas representa la emisión de grandes cantidades de hollín (Duarte, 2006).

Los aerosoles presentes en la troposfera son el resultado fundamentalmente de las emisiones de bióxido de azufre, resultantes de la quema de los combustibles fósiles y de biomasa. En los aerosoles hay sulfatos, iones amonio, nitratos, sodio, cloruros, metales, carbono, silicatos y agua. El carbono presente en los aerosoles puede ser carbono orgánico o elemental, el carbono elemental también llamado negro o grafito, es emitido principalmente por los procesos de combustión, en tanto que el carbón orgánico puede formarse por condensación de compuestos orgánicos de baja volatilidad. La magnitud del carbono elemental afecta directamente el forzamiento radiativo, en una localidad y tiempo determinados, depende de la radiación dispersada al espacio exterior, que a su vez depende del tamaño y propiedades ópticas de los aerosoles, de su abundancia y del ángulo del sol con el cenit (Cuatecontzi y Gasca, 2004).

Un aerosol puede absorber o dispersar la radiación, de esta manera se entiende que altos contenidos de hollín hacen que la partícula absorba la radiación y contribuya a calentar la atmósfera, por el contrario a bajos niveles de concentración de hollín y altos contenidos de partículas inorgánicas, las partículas logran dispersar la radiación y con esto una parte es regresada al espacio con un efecto de enfriamiento. La figura 15 muestra la radiación absorbida y la reflejada (Duarte, 2006).

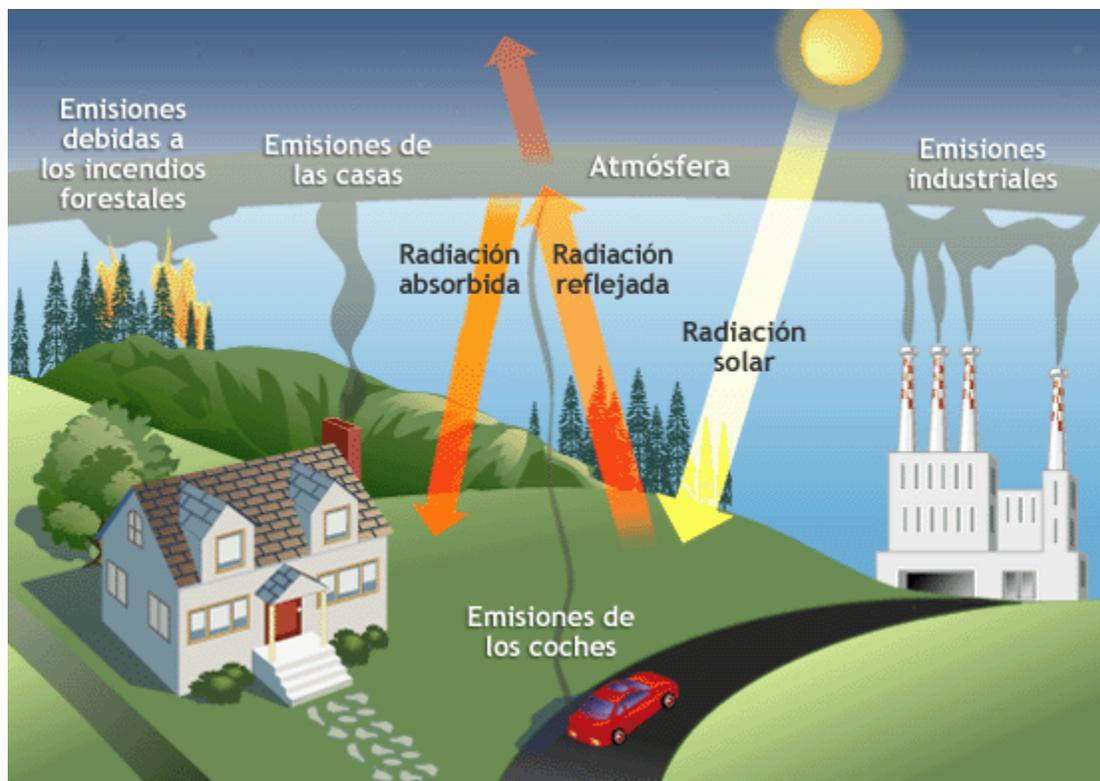


Figura 15. Radiación absorbida y reflejada por gases y partículas.

Imagen obtenida de INECC, 2011

El forzamiento radiativo se entiende como aquel cambio en el balance entre la radiación solar que entra y la radiación infrarroja que sale de la tierra (se expresa en Watts por metro cuadrado W/m^2), a pesar de la masa de la partícula o volumen las partículas influyen fuertemente en transmisión de energía radiante y la distribución espacial latente a través de la atmósfera que influyen en el clima (INECC, 2011).

Metales contenidos en partículas respirables

La composición elemental en las partículas incluye algunos elementos livianos como el Aluminio, Silicio, Potasio, Calcio y algunos pesados como Hierro, Zinc, Vanadio, Titanio, Cadmio, Plomo, Mercurio y Antimonio, donde cerca del 75 y 90% de metales como Cobre, Cadmio, Níquel, Zinc y Plomo se encuentran en la fracción de partículas PM_{10} (Parra *et al.*, 2010).

En México Mugica y colaboradores reportaron que de las estaciones estudiadas (Xalostoc, La Merced y el Pedregal), Xalostoc, contó con alta actividad industrial y mostro niveles altos en PM_{10} . Los análisis de microscopía electrónica mostraron partículas naturales con metales pesados adheridos, además de partículas con alto contenido de carbón posiblemente de quema de combustibles (Mugica *et al.*, 2002).

En Puebla, Morales y colaboradores reportaron un estudio donde la estación en la que se obtuvieron las concentraciones más altas de PM₁₀ fue debido a su cercanía a carreteras, estos niveles se encontraron en verano y primavera (Morales *et al.*, 2014).

Efecto en la salud de metales pesados

Las poblaciones urbanas están expuestas a partículas con alto contenido de metales en suspensión, y estas a menudo se encuentran por encima de los niveles naturales y pueden ocasionar un grave riesgo para la salud humana (Perusquia *et al.*, 2016).

Los metales contenidos en las partículas se consideran un peligro para la salud ya que pueden ser absorbidas en los tejidos pulmonares humanos durante la respiración. (Fernández *et al.*, 2001).

En un estudio realizado en la ciudad de Bogotá sobre exposición de emisiones en una zona de alto tráfico vehicular, ubicado en el cruce de la avenida Ciudad de Quito con calle 45, se determinaron concentraciones de Plomo, Cadmio, Cobre, Cromo y Manganeso en donde se encontró la mayor concentración para Plomo ($1\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Cobre ($0.58\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) y se concluyó que la fuente fundamental de la contaminación por partículas y metales pesados asociados en la zona de observación la constituyen las fuentes móviles, las cuales emiten estos contaminantes, como subproductos de la combustión de gasolina en los motores (Cárdenas, 2003).

La exposición al hierro puede provocar conjuntivitis y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna, llamada siderosis. Ningún daño físico de la función pulmonar se ha asociado con la siderosis. La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos (Rojas y Paez, 2015).

El plomo se encuentra contenido en el aire, recorre grandes distancias desde la fuente emisora antes de depositarse, permaneciendo en los suelos durante años. Es el primer agente responsable de intoxicación en ambiente laboral (Flores, 2013).

En el valle de Cauca, Colombia, Porras y colaboradores realizaron un estudio durante la temporada de zafra donde encontraron que los componentes del suelo se pueden resuspender al quedar este desprovisto de vegetación, teniendo mayor relación a cuando no se quema y fueron hierro, manganeso y silicio (Porreas *et al.*, 2016).

En la región de Izúcar de Matamoros, Frometra y colaboradores concluyeron la relación directa en la temporada de zafra con implicaciones negativas a la salud, ya que encontró que aumenta significativamente la concentración de partículas y los metales pesados en ellas, observando la correlación con la incidencia de casos de afecciones respiratorias registradas en el sistema de salud de la comunidad y la temporada de zafra (Frometra *et al.*, 2006).

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) son contaminantes prácticamente ubicuos. La referencia más antigua que se tiene de los HAP's, remonta al siglo 17, cuando Percival Pott asoció la exposición al hollín de las chimeneas con el cáncer de escroto y gracias a esa observación se abrió el camino para investigar la carcinogénesis de origen químico. Actualmente hay más datos sobre estos compuestos orgánicos y sus efectos adversos. Controlar la exposición a ellos es de gran importancia para proteger el ambiente y a los seres humanos, principalmente a quienes por su trabajo estén más expuestos, o por la zona donde viven (Albert y Flores, 2004).

Los HAP's se encuentran en el ambiente, y se forman principalmente por procesos industriales y de combustión, el hecho de estar formados por carbono e hidrogeno es el motivo por el que se les conoce como Hidrocarburos (Ramos, 2014).

Se ha estudiado al pireno y benzopireno se forman por síntesis pirolítica en los procesos de combustión (Albert y Flores, 2004).

De manera natural se encuentran en turba, lignita, carbón y petróleo crudo y se generan durante la combustión incompleta y la pirolisis de la materia orgánica; aunque también pueden ser producto de procesos naturales como incendios forestales y las erupciones volcánicas. En la Tabla 9 se presentan algunos HAP's (Albert y Flores, 2004).

Acenaftileno	Criseno
Acenafteno	Coroneno
Antantreno	Ciclopenta[cd]pireno
Antraceno	Dibenz[a,h]antraceno
Benzo[a]antraceno	Dibenzo[ae]pireno
Benzo[a]fluoreno	Inden[1,2,3-cd]pireno
Benzo[b]fluoreno	5-Metilcriseno
Benzo[b]fluoranteno	1-Metilfenantreno
Benzo[ghi]fluoranteno	Naftaleno
Benzo[j]fluoroanteno	Perileno
Benzo[k]fluroanteno	Dibenzo[a,h]pireno
Benzo[ghi]perileno	Dibenzo[a,i]pireno
Benzo[c]fenantreno	Dibenzo[a,l]pireno
Benzo[a]pireno	Fluoranteno
Benzo[e]pireno	Fluoreno

Tabla 9. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos más comunes (Albert y Flores, 2004).

Aunque la concentración de HAP's no parece incrementarse a medida que se sube por una cadena trófica (no presentan, por lo tanto, el fenómeno de biomagnificación, en parte debido a la capacidad metabolizadora de los depredadores superiores), su carácter lipofílico si tiene gran influencia en su mayor afinidad por los tejidos vivos, en especial los ricos en grasa, esto significa que los HAP's llevan a cabo una bioconcentración a partir del medio en el organismo que por

alguna vía de exposición que haya logrado introducirlo a su sistema, ya sea acuático o aéreo (Albert y Flores, 2004).

El primer HAP que se obtuvo en forma pura fue el benzo[a]antraceno, para 1929 se logró sintetizar el dibenzo[a,h]antraceno, que fue el primero en demostrar tener capacidad carcinogénica, y más tarde sería aislado el benzo[a]pireno que de igual manera demostró ser potencialmente carcinógeno (Vives y Guitart, 2001).

Entre las fuentes antropogénicas de HAP's destacan las que se presentan en la tabla 10, las cuales se presentan en orden de importancia.

Plantas productoras de coque.
Procesamiento de carbón, petróleo crudo y gas natural (incluyendo la producción de humo negro, gas de carbón y asfalto.
Plantas productoras de Aluminio
Plantas termoeléctricas y carboeléctricas.
Plantas siderúrgicas.
Refinerías de Petróleo.
Minas de carbón.
Industria de asfalto.
Plantas productoras de electrodos de grafito.
Plantas productoras de gas de carbón.
Otras industrias.
Incineración de basura y otros desechos.
Limpieza de incineradores y chimeneas.
Combustión incompleta de gasolina y diésel.
Calefacción residencial.
Ahumado y asado de la carne.
Humo del tabaco

Tabla 10. Principales fuentes generadoras de HAP's (Albert y Flores, 2004).

En general, la tasa de formación de estos compuestos depende de las condiciones de combustión. Una combustión que genere mucho humo negro, dará lugar a una mayor cantidad de estos hidrocarburos por masa de compuesto quemado (Vives y Guitart, 2001).

En la agricultura, las quemas a cielo abierto (quemas de residuos agrícolas), la quema de caña de azúcar y arroz, son las principales fuentes de emisión de HAP's, pero existe una discusión debido a que debe sumarse la adición de los fertilizantes y agentes químicos aplicados a las cosechas (Ramos, 2014).

Para los HAP's de menor peso molecular se tienen importantes aportaciones derivadas de la evaporación de disolventes pinturas y barnices, conocidos como *thinners*, lacas y aguarrás, que contribuyen a elevar la concentración de estos contaminantes en el aire, los vehículos automotores son una importante fuente de aportación de HAP's mientras que para las fuentes fijas la mayor aportación es por instalaciones de la industria petrolera (Albert y Flores, 2004).

Existen cientos de HAP's en el aire y a más de veinte de ellos se les ha podido demostrar alta actividad carcinogénica y mutagénica (Vices y Guitart, 2010). La figura 16 muestra la estructura típica de algunos HAP's

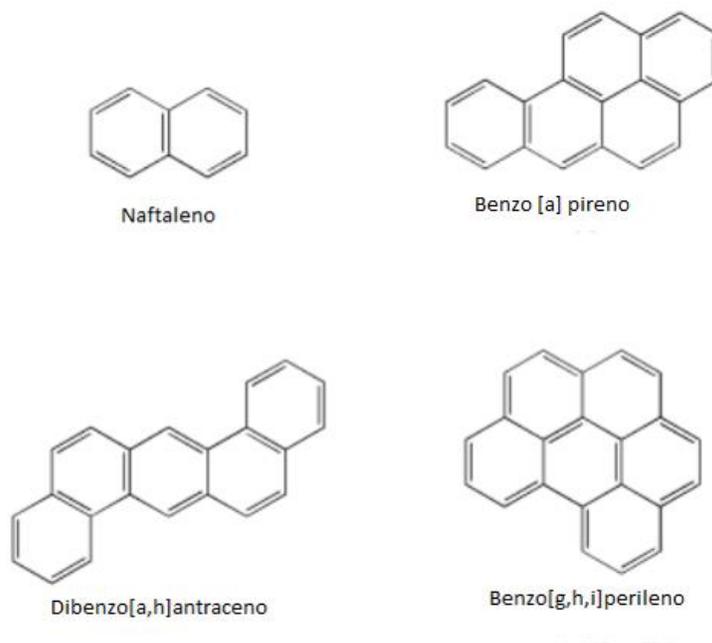


Figura 16. Estructura de HAP's modificada de (Vices y Guitart, 2010).

Los HAP's tienen altos puntos de fusión y ebullición, baja presión de vapor y muy baja solubilidad en agua, la que disminuye aún más cuando el peso molecular aumenta. Son solubles en muchos disolventes orgánicos y altamente lipofílicos; son más bien inertes químicamente. A temperatura ambiente, los HAP's de menor peso molecular (2 o 3 anillos) se les puede encontrar en fase de vapor, y los de mayor peso molecular (4 a 5 anillos) se encuentran en fase particulada. En el aire los HAP's de mayor peso molecular se adsorben a las partículas y la ausencia de precipitación húmeda permite que sus tiempos de residencia en la atmósfera sean prolongados. Las concentraciones de HAP's son más elevadas en muestras de aire de sitios donde son visibles los humos de los procesos de combustión o las emisiones vehiculares. Los mecanismos de absorción son muy importantes por vía inhalatoria, oral y dérmica, la vía inhalatoria suele ser la más importante y su efecto depende del tipo de HAP y el tamaño de partícula al que se encuentra adherido (Albert y Flores, 2004).

Entre los Compuestos que nos indican el IARC como carcinógenos se encuentran (IARC, 2010):

- Benzo [a] anteaceno: Grupo 2B. Posible cancerígeno para los seres humanos
- Criseno: Grupo 2B. Posible cancerígeno para los seres humanos
- Benzo [b] fluoranteno: Grupo 2B. Posible cancerígeno para los seres humanos
- Benzo [k] fluoranteno: Grupo 2B. Posible cancerígeno para los seres humanos
- Indeno [1,2,3-cd] pireno: Grupo 2B. Posible cancerígeno para los seres humanos
- Dibenzo [a,h] antraceno: Grupo 2A. Probable cancerígeno para los seres humanos
- Benzo [a] pireno: Grupo 1. Cancerígeno para los seres humanos.

Biotransformación en el cuerpo

Los HAP's una vez que entran al cuerpo entran en una biotransformación que involucra una serie de enzimas que catalizan una serie de reacciones de oxidación, reducción e hidrólisis (enzimas del citocromo P 450-CYP) y de enzimas que catalizan reacciones de conjugación (sulfotransferasa, epóxido hidrolasa, glutatión S-transferasa y UDP-glicotransferasa) estos sistemas enzimáticos están distribuidos en los tejidos del organismo las enzimas responsables de la activación metabólica de los HAP's son la CYP1A1, CYP1B1 y con menos fuerza la CYP1A2 en la figura 17 se muestra la ruta metabólica para en Benzo [a] pireno (Mastandrea *et al.*, 2005).

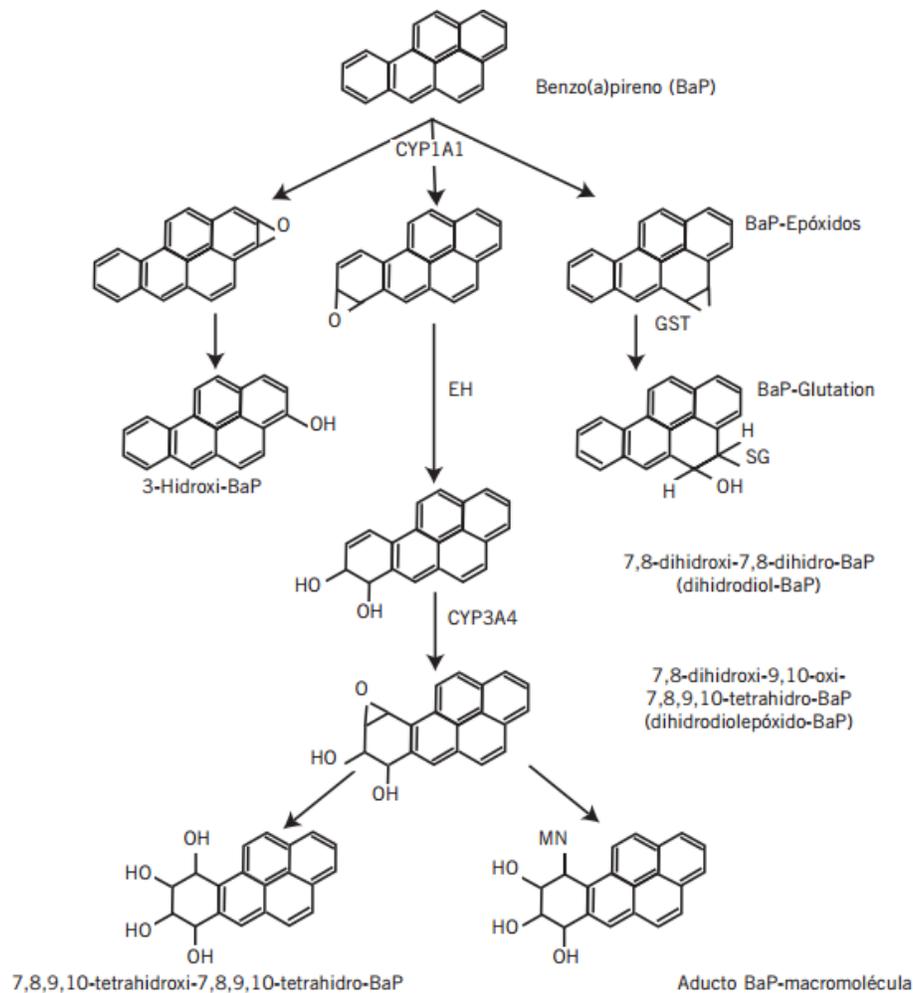


Figura 17. Representación de la ruta metabólica del Benzo [a] pireno en los Humanos (Matandrea *et al.*, 2005).

El Modelo de Receptor CMB

Los modelos receptor existentes suponen que las especies químicas que llegan al receptor desde la fuente se transportan conservando su masa, es decir, la suma de las especies medidas en el receptor, es la suma del impacto de cada fuente individual. En la tabla 11 se muestran las cualidades y defectos del modelo receptor CMB.

Requerimientos	Cualidades	Defectos
Mediciones de fuente receptor	Uso sencillo	Falta de Mediciones en fuentes
Perfil de la fuente	Software disponible	Es subjetivo
Incertidumbres	Cuantifica la contribución por fuente	No identifica fuentes desconocidas.
Periodos de muestreo		

Tabla 11. Cualidades y defectos del modelo receptor CMB.

editada de Gutierrez, 2007

El concepto básico de los modelos receptor es encontrar la contribución de la fuente o de las fuentes, con las concentraciones previamente caracterizadas, sin reconstruir los patrones de dispersión de contaminantes (Gutierrez, 2007).

Estos archivos se alimentan y se obtienen resultados como se explica en la tabla 12.

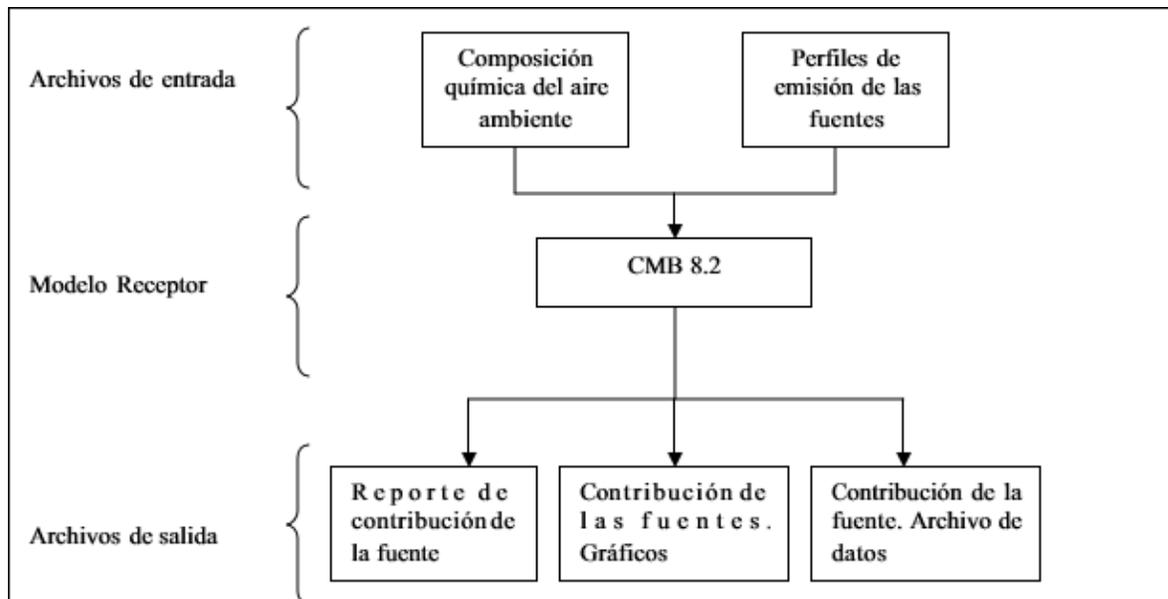


Tabla 12. Archivos de entrada y de salida para el modelo receptor CMB.

editada de Gutierrez, 2007

Fundamentos del modelo Receptor

El modelo Receptor se compone de una solución a un sistema de ecuaciones lineales que expresan cada receptor de la masa química recolectada en un filtro ambiental, como una suma lineal de los productos de las contribuciones de las fuentes relacionada con la composición propia y el factor de aporte.

Para diferenciar entre la contribución de las fuentes de diferente tipo, el producto químico y las características físicas medidas, deben ser de tal magnitud que estén presentes en diferentes proporciones en las emisiones y los cambios en éstas, entre la fuente y el receptor, sean insignificantes o lleguen a ser aproximados. El modelo CMB 8.2 calcula los valores de las contribuciones de cada fuente y las incertidumbres de los valores. El modelo es aplicable a múltiples especies de los conjuntos de datos, el más común de las cuales son caracterizados químicamente, Partículas y compuestos orgánicos volátiles (PM_{2.5}, PM₁₀ y COV's).

Los resultados del CMB se utilizan comúnmente para determinar el aporte de diferentes fuentes a las concentraciones ambientales. El ajuste del modelo se considera "bueno" si los valores de los parámetros estadísticos se encuentran dentro del rango aceptable tal como se indica a continuación.

- La fracción de la varianza en las concentraciones medidas, explicado por la variación de las concentraciones calculadas (R^2) sea superior a 0.8.
- El ponderado de la suma de los cuadrados de la diferencia entre las concentraciones de las especies calculadas y medidas (χ^2) sea menor de 4.
- El grado de libertad (DF) sea mayor que 5.
- El porcentaje de la masa de aerosol explicada por las fuentes, entre 80-120.
- La relación entre la concentración medida y calculada (C / M), entre 0,5 a 2.
- El valor absoluto de la razón de la incertidumbre residual (R / U) sea inferior a 4.

La alimentación de datos al software consta de la preparación de 6 archivos, diferidos en archivos de entrada, selección y control de datos de la siguiente manera:

- Archivo de entrada ambiental: debe nombrarse máximo con seis caracteres, de los cuales sus dos primeros caracteres deben ser "AD" y ser guardado con la extensión de archivo .TXT o .CSV, este archivo básicamente contiene los códigos de las muestras ambientales (ID), fecha de muestreo (DATE), tiempo total en horas del muestreo (DURACIÓN), Hora de inicio del muestro (STHOUR), tamaño de la partícula (TAMAÑO) para PM_{2.5} se ingresa se ingresa el tamaño "FINE", concentración de la muestras en microgramo metro cubico o bien en nano gramos metros cúbicos (TMAC), debe ingresarse la incertidumbre de medición de la

concentración (TMAU), al igual que los valores e incertidumbres de cada elemento o compuesto determinados en la caracterización ambiental.

- Archivo de entrada Fuentes: debe nombrarse máximo con seis caracteres, de los cuales sus dos primeros caracteres deben ser "PR" y ser guardado con la extensión de archivo .TXT o .CSV, este archivo básicamente contiene los códigos de las muestras de fuentes (PNO), un identificativo que determina el tipo de fuente (SID), tamaño de la partícula (SIZE) para PM_{2.5} se ingresa se ingresa el tamaño "FINE", además los valores e incertidumbres de cada elemento o compuesto determinados en la caracterización de la fuentes en porcentaje peso a peso.
- Archivo de selección de datos de ambiente: debe nombrarse máximo con seis caracteres, de los cuales sus dos primeros caracteres deben ser "AD" y ser guardado con la extensión de archivo .SEL, este archivo básicamente contiene los códigos de los muestras de ambientales, fecha de muestreo, tiempo de muestreo en horas, hora de inicio del muestro, tamaño de la partícula y un asterisco que indica la muestra ambiental a modelar.
- Archivo de selección de datos de especies químicas: debe nombrarse máximo con seis caracteres de los cuales sus dos primeros caracteres deben ser "SP" y ser guardado con la extensión de archivo .SEL, este archivo básicamente contiene los nombres de la especies químicas en elementos y/o compuestos a tener en cuenta en el modelo de balance másico. Puede realizarse combinaciones mediante un asterisco que indica la especie a modelar.
- Archivo de selección de Perfiles de fuentes: debe nombrarse máximo con seis caracteres, de los cuales sus dos primeros caracteres deben ser "PR" y ser guardado con la extensión de archivo .SEL, este archivo básicamente contiene los códigos de los muestras de fuentes, tipo de perfil de la fuente, y un asterisco que indica el perfil a modelar.
- Archivo de control de datos: debe nombrarse máximo con ocho caracteres, de los cuales sus dos primeros caracteres deben ser "IN" y ser guardado con la extensión de archivo .in8, este archivo básicamente contiene los nombres y extensiones de los 5 archivos anteriormente mencionados (Watson *et al.*, 2004).

Perfil de emisión de la fuente

El perfil de emisión es la caracterización química de las emisiones de una fuente determinada, donde cada compuesto es expresado en fracción con respecto al total de la masa. Las fuentes deben ser identificadas en la zona de estudio, en la tabla del anexo 7 se presenta un resumen de los perfiles de emisión empleados en el modelo CMB 8.2, donde se deben tener varios perfiles para cada categoría de fuente de emisión, pero sólo un perfil de cada categoría debe de ser incluido en el ajuste. La elección final de los perfiles de emisión más apropiados se hace durante la interacción con el modelo, al observar las medidas de desempeño (Vallesa, 2005).

Una vez que se tienen los resultados preliminares del modelo se procede a evaluarlos con base en las medidas de desempeño. Si no se cumplen, se vuelve a correr el modelo cambiando una o más de las especies y/o fuentes seleccionadas, buscando resultados que cumplan con los criterios establecidos y que puedan ser reportados de forma confiable. Se utilizó el modelo CMB 8.2 disponible en Internet a través del sitio de la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA, 2016).

6 ESTADO DEL ARTE

Se realizó la revisión bibliográfica relacionada con estudios realizados en México y otros países y en zonas cañeras encontrándose que existen muy pocos, especialmente en México donde algunos se presentan a continuación en la tabla 13:

Autor	Estudio	Resultados
Mugica <i>et al.</i> , 2015	Se determinaron hidrocarburos aromáticos policíclicos en una zona cañera en Veracruz y otra en Córdoba.	Las concentraciones de HAP's durante la zafra fueron hasta seis veces más altas que durante la temporada de Sin Zafra. Se encontró que de los HAP's cuantificados el 60% corresponde a compuestos cancerígenos.
Ramos, 2014	Realizó un estudio piloto sobre la quema de caña en Veracruz.	La exposición a partículas PM _{2.5} y PM ₁₀ rebasó en 105% y 83% respectivamente los límites en un promedio de 24hrs.
Santiago, 2012	Estudio la concentración de Partículas y carbono negro presentes en época de Zafra y de Sin Zafra.	PM ₁₀ fue mayor en zafra 89.4 µg/m ³ y Sin Zafra 57.2 µg/m ³ . El carbono negro incrementó la concentración a más del doble, cerca del 88.3% de carbono negro en PM _{2.5} .
Andrade <i>et al.</i> , 2010	En Araraquara, Brazil se midieron las partículas PM ₁₀ y la concentración de HAP's en temporada de cosecha (zafra) y Sin Zafra.	Concentración de partículas en Zafra, 76 a 182µg/m ³ y para HAP's de 11.6 ng/m ³ . Concentración de partículas en Sin Zafra de 15 a 30ug/m ³ y para HAP's de 2.5 ng/m ³ .
Carrera y Loyola, 2010	El incremento en la producción de caña genero mayor cantidad de contaminantes.	Se midieron los contaminantes PM ₁₀ , SOx, NOx y CO los cuales superaban las Normas de calidad del aire.
Vallesa, 2005	Aplicación de Modelos CMB para caracterizar fuentes aportadoras de contaminación	Fuentes vehiculares 44.23 µg/m ³ (65.82%), de los que 12.29 µg/m ³ corresponden a gasolina y 31.94 µg/m ³ a diésel. La contribución por aerosoles fue de 12.12 µg/m ³ (18.045) y por suelo de 10.8 µg/m ³ (16.14%).
Ostro <i>et al.</i> , 1996	Chile un estudio sobre la exposición a partículas PM ₁₀	Consistente asociación entre la exposición al PM ₁₀ y la muerte por enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Tabla 13. Estado del arte.

7 METODOLOGÍA

Sitios de muestreo

Se ubicaron 2 sitios de muestreo que se veían favorecidos por los vientos predominantes (sureste) (Figura 18). El primer sitio “Colpos”, representado con el número triángulo azul, se ubicó en el Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, Congregación Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, considerado como zona rural. En éste se colocaron:

- 4 equipos de bajo volumen (minivol, 2 cabezales PM₁₀ y 2 cabezales PM_{2.5}) Marca AirMetrics con un flujo de muestreo de 5 l/min.
- 2 muestreadores de alto volumen (hivol PM₁₀ y PM_{2.5}) Marca TishEnvironmental, con un flujo promedio de 1132 l/min.

Los muestreadores simulan lo que respira una persona normal en un día y los hivol la calidad de aire para un sitio. Los muestreos se realizaron de enero del 2015 a noviembre del 2016. En la figura 19 se muestran los equipos colocados en “Colpos”. El primer sitio fue seleccionado debido a la cercanía con la zona de cañaverales, el segundo sitio fue seleccionado por estar en el centro de Córdoba.

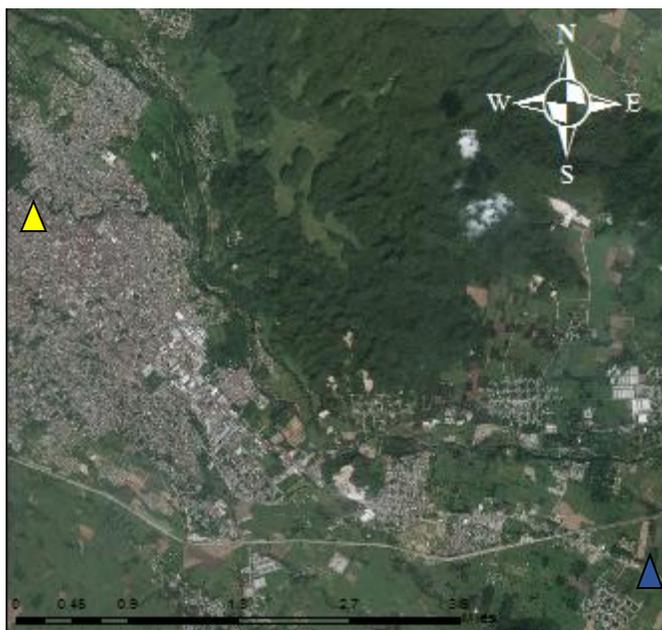


Figura 18. Sitios de muestreo en Córdoba Veracruz Colpos Y El Palacio.

Posteriormente, en el mes de marzo 2015 se ubicó un segundo punto “El Palacio” debido al permiso otorgado por el Municipio de Córdoba Veracruz (ver figura 18 Triángulo amarillo), en el Ayuntamiento de Córdoba, calle 1, S/N, centro 94500, Córdoba, Ver., considerado zona urbana donde se colocaron los siguientes equipos:

1 equipo de alto volumen (hivol PM_{2.5}) Marca TishEnvironmental con un flujo promedio de 1132 l/min.

2 equipos minivol (bajo volumen), 1 cabezal PM₁₀ y 1 cabezal para PST) Marca AirMetrics con un flujo de muestreo de 5 l/min.

La figura 20 muestra los equipos colocados en El Palacio.



Figura 19. Equipos colocados en Colpos Córdoba, Veracruz



Figura 20. Equipos colocados en el Palacio Municipal.

Preparación de los filtros.

Filtros de teflón

Los filtros que se usaron en esta campaña fueron marca Whatman con un diámetro de porosidad de $2\mu\text{m}$ y un diámetro de 46.2 mm, se acondicionaron a una temperatura promedio de 21°C en un desecador con silica gel por 24 horas, se pesaron en una balanza analítica, se usó un termohigrómetro para medir la humedad y temperatura ambiente presente (20°C y 19% de humedad), (Figura 21).



Figura 21. Filtros de teflón

Filtros de cuarzo

También se usaron filtros de cuarzo marca PALL de 8" por 9" (Figura 22). Estos se colocaron en una mufla con una rampa que alcanzó los 700°C por 4 horas para eliminar materia orgánica presente y se acondicionaron por 24 horas en un desecador con silica gel a una temperatura promedio de 21°C y 19% de humedad, se pesaron en una balanza analítica en el laboratorio de Química atmosférica de la UAM-Azcapotzalco.



Figura 22. Filtros de cuarzo (Hivol y Minivol).

Análisis de muestras

Los filtros de cuarzo con muestra de partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} usados en equipos de alto volumen se refrigeraron y se guardaron en la congeladora a una temperatura de aproximadamente $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ para tratamiento de las muestras:

Los filtros de los muestreadores de bajo y alto volumen fueron colocados nuevamente en un desecador con silica gel para eliminar humedad desecador con silica por 24 horas y con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993, la cual establece el procedimiento para determinar la concentración de partículas. Esto fue realizado en el laboratorio de química atmosférica de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

1. Los filtros de cuarzo se pesaron en la Balanza analítica “Explorer OHAUS” donde se determinó la diferencia de pesos en los filtros de cuarzo de 8” x 9” (figura 23).



Figura 23. Balanza utilizada para filtros de cuarzo (max 210g, $d=0.1\text{mg}$).

Los filtros de Teflón se pesaron en una Micro Balanza “METTLER TOLEDO” (figura 24).



Figura 24. Microbalanza utilizada para filtros de 47mm de teflón (max 5.1g, $d=1\mu\text{g}$).

Concentración de partículas

La concentración de partículas se obtuvo con base en la Norma Oficial mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993, la cual establece los métodos de medición para determinar concentración de partículas. Lo cual emplea las siguientes fórmulas:

Obteniendo

$$V = Q_{ptn} * t$$

Donde:

V= Volumen (m³).

Q_{ptn} = Flujo patrón (m³/min).

T= Tiempo (min).

Y finalmente:

$$concentración = \frac{(P_f - P_i) * 10^{-6}}{V}$$

Donde:

Concentración= Concentración de partículas en µg/m³.

P_f=Peso final (g).

P_i=Peso inicial (g).

V= Volumen (m³).

Las concentraciones de este trabajo se presentan bajo condiciones estándar de acuerdo a lo establecido en la NOM-035-SEMARNAT-1993.

Una vez determinada la concentración, los filtros fueron medidos y cortados para sus posteriores análisis (Figura 25).

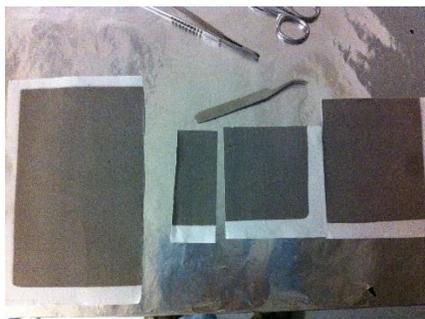


Figura 25. Corte de filtros.

Cada parte de los filtros cortada fue utilizada para lo siguiente:

1. Determinación de HAP's.
2. Determinación de las concentraciones de carbono orgánico y elemental por método óptico y termo-óptico.
3. Análisis Elemental.

Extracción de los HAP's

1.-Los filtros fueron colocados en un matraz de 125 ml esmerilado conectado a un refrigerante, donde se vertieron 20 ml de cloruro de metileno y se colocaron en un baño de ultrasonido marca Branson 2510 (figura 27).

2.-Las muestras se sonicaron a 60°C durante 30 minutos para concentrar los HAP's.

3.-El contenido del matraz fue vertido en un matraz bola esmerilado y se colocó en una hielera.

4.-Después se repitieron los pasos 2 y 3 sobre el mismo filtro.

5.-La mezcla cloruro de metileno/HAP's se concentró a 1ml destilando el cloruro de metileno mediante un rotavapor Marca Buchi 461 Water Bath a 25°C y con una presión de vacío de 5 pulgadas de agua con una bomba marca Siemens. Si el contenido del matraz aforado a 1ml rebasa el aforo se reduce usando Nitrógeno.

6.-Ya reducido, se filtró con un acrodisco Marca Silicycle con un diámetro de poro de 0.22 μm y se colocó la muestra en un vial ámbar de 1ml (figura 26).

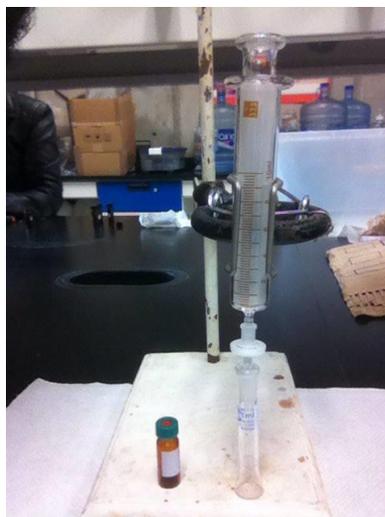


Figura 26. Aforado final de la muestra.



Sonicador Branson
2510R-MT

Rotavapor Büchi 461
Water Bath

Figura 27. Extracción y evaporación de HAP's.

Evaluación de la técnica de extracción.

Para evaluar la técnica de extracción, se obtuvieron los porcentajes de recobro que indican la cantidad de los HAP's deuterados recuperada en la porción de muestra o muestra adicionada cuando esta es conducida a través del método de extracción cromatográfico completo, y que permite evaluar la eficiencia de la extracción y que se expresa en términos de porcentaje. Los porcentajes de recobro obtenidos en este trabajo estuvieron en el rango 80-120% los cuales son considerados por la EPA como aceptables. Lo cual fue realizado colocando en la mitad del filtro colectado (filtro de alto volumen), 6 HAP's deuterados (Fenantreno d10, Fluoranteno d10, Pireno d10, Benzo[b] fluoranteno d12, Benzo[a] pireno d12, Benzo[ghi] perileno d12) que al ser sometidos al proceso de cromatografía se cuantificaron de la siguiente manera:

$$\%Rec = \frac{C_e * 100}{C_i}$$

Donde:

C_e =Concentración del HAP medida después de la extracción

C_i =Concentración del HAP adicionado.

Se preparó una curva con 7 puntos de un estándar de 17 HAP's certificados marca Ultra Scientific con número de lote CC-2716A SMA-300, así como los porcentajes de recobro para cada HAP (Anexo 1).

Análisis y cuantificación de HAP's

Se preparó una curva con 7 puntos de un estándar de 17 HAP's certificados marca Ultra Scientific con número de lote CC-2716A SMA-300.

El análisis de los HAP's en las muestras de partículas se llevó a cabo por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM) mediante un CG modelo 6890 , acoplado a un EM modelo 5973N, Agilent Technologies, EUA (figura 28). La tabla 14 muestra las condiciones empleadas.

Dispositivo	Condiciones de operación para el análisis				
HAPS	Horno	Rampa de temperatura:			
		Incremento, °C min ⁻¹	Temperatura, °C	Tiempo permanencia, min.	Tiempo de corrida, min.
			40	1	1.0
		50	110	0	2.4
		5	303	0	41.0
	20	340	13	55.6	
	Inyector	Temperatura: 300 °C. Modo: "Splitless" Volumen de inyección: 1 µL Gas de acarreo: Helio (99.999 %) a 1.2 mL min ⁻¹ .			
	EM	Temperatura cuadrupolo: 150 °C. Temperatura fuente de iones: 230 °C.			

Tabla 14. Condiciones de operación para el análisis de de HAP's CG-EM

Se utilizó una columna HP35MS Marca Agilent J&W con una longitud de 30m, diámetro de 0.250 mm y un espesor de película de 0.25µm, con límites de temperatura de 50°C a 340°C.

Cuantificación

La preparación del estándar interno fue con 6 HAP's deuterados a una concentración de 125 ng/ml los cuales fueron Pireno D10, Fluoranteno D10, Benzo [b] fluoranteno D12, Fenantreno D10, Benzo a Pireno D12 y Benzo [ghi] Perileno D12.



Figura 28. CG acoplado a un EM de masas HP 5973.

Determinación de carbono orgánico y elemental.

Se utilizaron dos métodos en los filtro de cuarzo: un método termo óptico y un método óptico.

Método Termo Óptico:

Para determinar carbono orgánico y elemental se utilizó el equipo "SUNSET LABORATORY" (figura 29) bajo el método TOT-NIOSH. Se cortó un área de filtro de 1.5 cm², la cual fue introducida en el equipo. En la primera etapa el filtro de cuarzo se calentó a 650 °C en ausencia de oxígeno, después para el carbono negro se eleva a temperaturas de 800°C con el objetivo de realizar la oxidación. La concentración de carbono elemental y carbono orgánico se obtuvieron mediante la ecuación 1 y 2 respectivamente. Cabe mencionar que en la literatura suele usarse indistintamente los términos de carbono elemental y carbono negro (Ramanathan y Carmichael, 2008).

$$CE_{total} = \frac{CE \left(\frac{\mu g}{cm^2} \right) * A(cm^2)}{V(m^3)} \text{ (Ecuación 1)}$$

- CE_{total}= Carbono elemental total µg/m³.
- CE=Carbono elemental por unidad de área en µg/cm².
- A = Área de filtro utilizada para el análisis.
- V= Volumen muestreado para cada filtro.

$$CO_{total} = \frac{CO \left(\frac{\mu g}{cm^2} \right) * A(cm^2)}{V(m^3)} \text{ (Ecuación 2)}$$

- CO_{total} = Carbono orgánico total en $\mu g/m^3$.
- CO = Carbono orgánico por unidad de área en $\mu g/cm^2$.
- A = Área de filtro utilizada para el análisis.
- V = Volumen muestreado para cada filtro.



Figura 29. Equipo SUNSET LABORATORY para determinar Carbón Orgánico y elemental.

Método óptico

El equipo SootScan (figura 30) determina la concentración de carbono negro por medio de un principio de atenuación. Este ocupa 2 longitudes de onda (λ 370 nm= para el carbono orgánico y λ 880 nm= para carbono negro). Se coloca un blanco de referencia al cuantificar los filtros de 47mm cada 5 muestras y por medio del coeficiente de absorción del equipo ($0.06 \mu g/cm^2$). Se obtiene la concentración en $\mu g/cm^2$. Con el área del filtro, tiempo y volumen de muestreo se obtiene la concentración de CN.



Figura 30. Equipo Óptico SootScan para la medición de carbono orgánico y carbono negro.

Análisis elemental para aplicar al modelo receptor:

Se digirió aproximadamente 35 cm² de cada filtro en el laboratorio de geoquímica ambiental del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua del CSIC (IDAEA-CSIC) en la ciudad de Barcelona, España (figura 31).

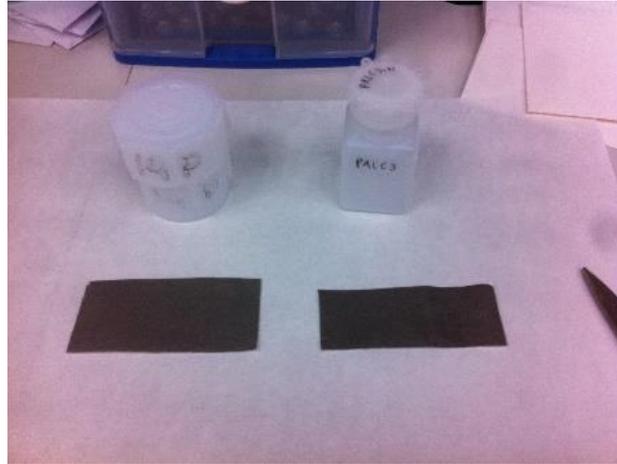


Figura 31. Muestras utilizadas para la digestión y lixiviados.

Digestión de la muestra.

El filtro medido fue colocado en un vaso de teflón marca SAVILLEX DE 60ml, para su digestión se agregó 1.25ml de HNO₃ al 65% y se dejó a 90°C por 12 horas.

Posteriormente se adicionaron 1.25ml de ácido perclórico al 60% y se colocaron los vasos de teflón en una parrilla a 40°C hasta sequedad (figura 32).



Figura 32. Parrilla para evaporar muestras.

Una vez evaporadas las muestras se agregaron 1.25 ml de HNO₃ y 10ml de agua desionizada, se vertieron en un matraz de 25ml y se aforaron a 25ml con agua desionizada (figura 33).



Figura 33. Matraz para aforar la muestra.

Después de aforar se centrifugó cada muestra a 300 rpm durante 20 min. Y se dispuso del líquido sobrenadante para su lectura en un equipo de Plasma de Acoplamiento inductivo (ICP, por sus siglas en inglés) (figura 34).



Figura 34. Separación de las muestras para lectura en ICP.

El ICP es una fuente de ionización a presión atmosférica que junto a un espectrómetro de masas (MS, por siglas en inglés) a vacío, constituye el equipo de ICP-MS.

La muestra líquida es vaporizada e ionizada con un plasma de Argón. Los iones una vez formados pasan al espectrómetro de masas donde son separados mediante un analizador y detectados. El equipo es marca "Thermo XSERIES" que se muestra en la figura 35 y la tabla 15 muestra las condiciones de operación.



Figura 35. Equipo utilizado para medir análisis elemental de las muestras.

Parámetro	Valor medido
Flujo de nebulizador	0.8-1 min ⁻¹
Voltaje de lentes	9-9.5 V
Poder de Radiofrecuencia	1000 W
Voltaje de detector analógico	-1950 V
Voltaje de detector de pulsos	1200 V
Discriminador de umbral	150mV
Corriente alterna de compensación	-5 V

Tabla 15. Parámetros de optimización utilizados.

Determinación de iones

Del filtro se cortaron aproximadamente 30 cm² y se introdujo en un recipiente de plástico (figura 36) posteriormente se añadieron 30 ml de agua desionizada. Se sometió a ultrasonido por 15 min y después las muestras se metieron a la estufa por 15 hrs a 60°C. Una vez frío, se filtró a través de un acrodisco con porosidad de 45µm para su lectura.

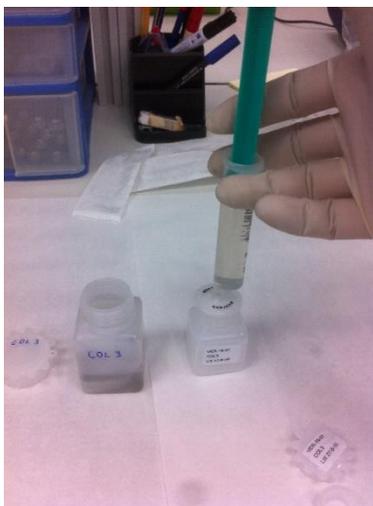


Figura 36. Recipientes utilizados para medir lixiviados.

El contenido de ión NH₄⁺ en los lixiviados fué medido mediante un potenciómetro “Thermo ORION STAR” con un electrodo ion selectivo NH₄⁺ (figura 37).

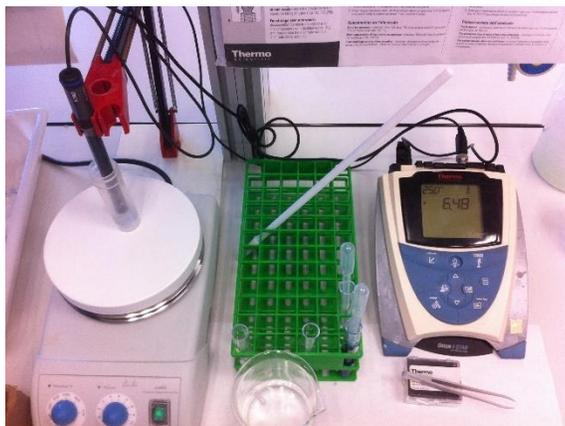


Figura 37. Equipo para medir iones de NH_4 presentes en los lixiviados.

Los aerosoles inorgánicos secundarios Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} fueron analizados en el laboratorio de la Universitat de Barcelona bajo la siguiente metodología:

Las muestras se inyectan directamente en el sistema cromatográfico por duplicado y los resultados se expresaron en mg/l.

Para confirmar el tiempo de retención de los analitos, se hizo una adición de estándar (Cl^- 261mg/l, NO_3^- 140 mg/l y SO_4^{2-} 115mg/l) sobre dos muestras añadiendo disolución patrón intermedio sobre las muestras líquidas, para confirmar que no se trataba de impurezas presentes en las muestras.

Y se utilizaron los siguientes equipos:

- Cromatógrafo: HPLC Jasco LC-Net II / ADC.
- Detector: BioLC ED50 Electrochemical detector (Dionex).
- Balanza: Mettler Toledo AT261 Delta Range.

Las condiciones cromatográficas para el análisis fueron las siguientes

- Columna: IC-Pak Anion HR, 75 x 4.6 mm (Waters).
- Fase móvil: Borat-gluconat.
- Inyección: 100 μl .
- Flujo isocrático: 1 ml/min.
- Temperatura: ambiente 25 °C.
- Detector de conductividad rango de 5 μS .
- Software: Jasco ChromNAV (Jasco).

8 RESULTADOS

Concentración de partículas.

Para la temporada de Zafra se muestreó de enero a mayo del 2015 y de febrero a marzo 2016 en la zona 1 de muestreo, en las instalaciones de Colegio de Postgraduados (Colpos) campus Córdoba, donde se obtuvieron concentraciones promedio en 24 horas para la temporada de Zafra de $66.20 \pm 26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $44.30 \pm 19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$. La figura 38 muestra las concentraciones diarias para ambos tamaños de partículas, se observa con base en la NOM-025-SSA1-2014 fijada en $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$ la Norma es superada en algunos días.

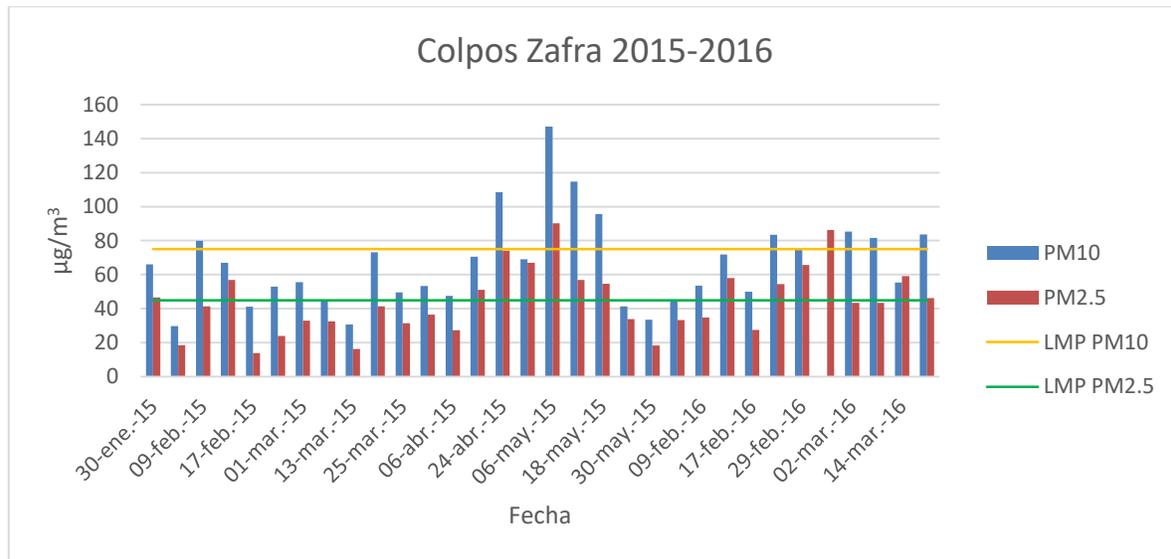


Figura 38. Concentración de partículas en Zafra para PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ en el sitio Colpos.

A lo largo del muestreo se presentaron precipitaciones, lo cual puede explicar el cambio en la concentración de un día para otro al igual que la dirección y velocidad de viento; el 1 de marzo del 2016 no se obtuvieron resultados para $\text{PM}_{2.5}$ debido a fallas en el equipo. El mes de mayo fue el día más afectado y se caracterizó por ausencia de lluvia (INIFAP, 2015). Las concentraciones fueron comparadas con lo reportado por otros investigadores en la tabla 16.

Autor	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Mugica <i>et al.</i> , 2015 Morelos	164.8	112.9
Ramos, 2014. Córdoba	89.38	49.91
Santiago, 2014. Chiapas	45.16	29.14
Reyes y Navarro, 2004. Puebla	46	5
Lara <i>et al.</i> , 2005. Brasil	91	-
Presente trabajo. Colpos Córdoba	66.20	44.3

Tabla 16. Comparación en concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en temporada de Zafra con otros estudios.

En el estudio realizado en Morelos se muestreó aproximadamente a 300 metros del ingenio azucarero, fuente que trabajaba las 24 horas en la producción de azúcar, lo que puede explicar las concentraciones elevadas durante su muestreo en temporada de Zafra. En Chiapas no existían fuentes representativas alrededor de los sitios de muestreo por lo que la concentración de partículas fue menor. Cabe mencionar que, además del proceso de caña en la zona geográfica de Córdoba, existen alrededor industrias y vehículos que transitan a diario, además de estar en el centro de la zona cañera más grande de Veracruz que contribuye a la emisión de partículas.

En comparación a una campaña realizada en Córdoba Veracruz por Ramos en 2014 donde la concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la temporada de Zafra incrementa en comparación con la de Sin Zafra, estos resultados fueron similares con los de este estudio, debido a que ambos sitios de muestreo se encuentran cercanos, teniendo similares fuentes de emisión.

Reyes y Navarro (2004) realizaron un estudio en temporada de Zafra en Izúcar de Matamoros, Puebla, donde concluyen que la principal fuente de emisión de partículas en la zona de estudio es la quema de caña, debido a que su sitio de muestreo se encontraba alejado de fuentes vehiculares o industriales. La concentración de partículas reportada en su estudio fue menor al encontrado en el presente estudio. Esto puede deberse a que cerca del sitio de Córdoba, Veracruz existen otro tipo de fuentes que aportaban partículas.

Segundo muestreo Colpos Sin Zafra.

Para este muestreo fue necesario esperar a que terminara la Zafra, fueron pocos días de muestreo y se presentaron problemas con los equipos. Las concentraciones promedio en 24 horas para la temporada de Sin Zafra fueron de $35.98 \pm 9.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $20.07 \pm 8.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$. En ningún día se superó la Norma NOM 025 SSA1 2014 para el sitio Colpos. En la figura 39 se muestran las concentraciones para ambos tamaños de partículas, donde se observa como disminuyen hasta en un 40% con respecto a la temporada de Zafra.

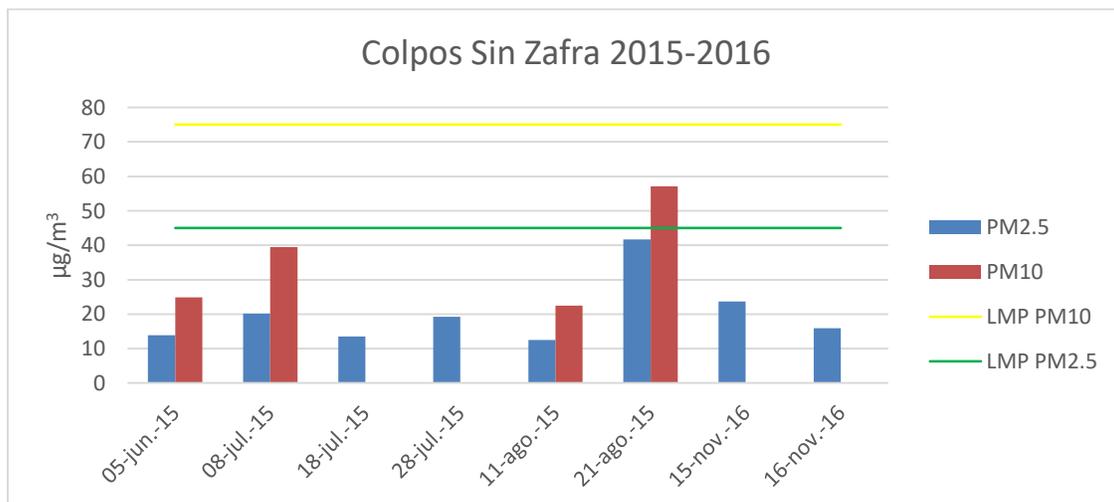


Figura 39. Concentración de partículas en Sin Zafra para PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ en el sitio Colpos.

Se puede observar la disminución de partículas en la temporada de Sin Zafra con respecto a la temporada de Zafra. Estos meses fueron los que mayor precipitación presentaron a lo largo del año (junio, julio, agosto y septiembre), la lluvia ayuda a limpiar el aire y esto puede ser uno de los motivos de que ningún día se haya rebasado la Norma. Colpos es el sitio rural más cercano a las parcelas donde se siembra caña por lo que debido a la cercanía que se tiene con las parcelas (aproximadamente 300m la más cercana) puede tener mayor afectación. Las temporadas de muestreo Zafra y Sin Zafra para partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} en el sitio Colpos (Anexo 2) muestran una diferencia significativa Mann-Whitney con un intervalo de confianza $p < 0.05$.

La precipitación pluvial normal para “Colpos y El Palacio” en 2015-2016 se muestra en la figura 40.

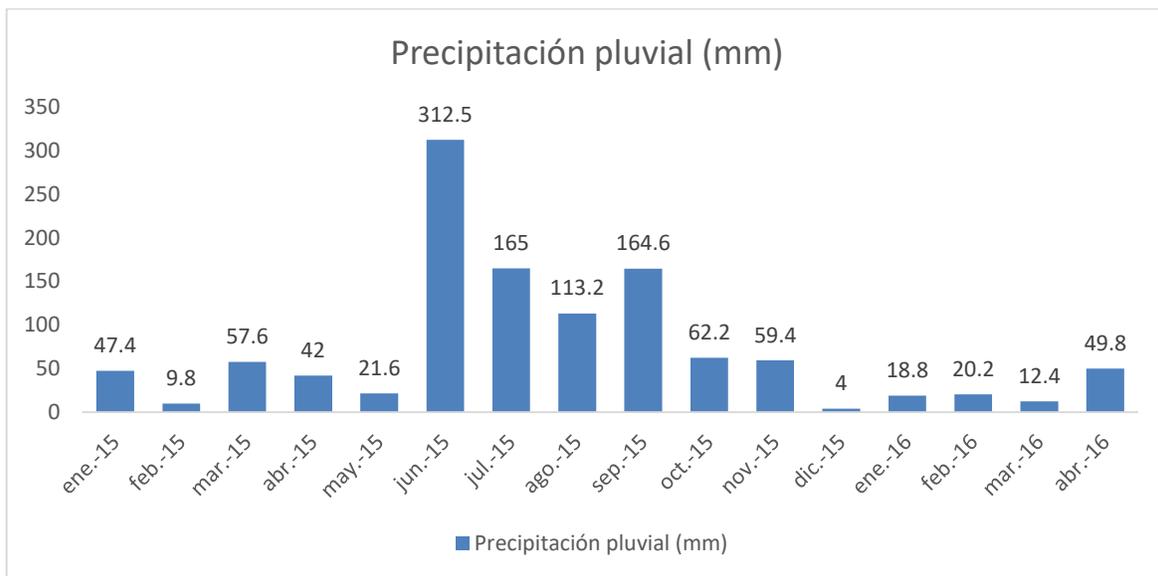


Figura 40. Precipitación pluvial normal mensual (mm) en Colpos 2015-2016.

Muestreo en El Palacio Municipal durante la Zafra.

El segundo sitio de muestreo ubicado en El Palacio Municipal de la Ciudad de Córdoba, se llevó a cabo en febrero y mayo del 2015. En este sitio se presenta alto tráfico vehicular en la ciudad, además hay abundantes negocios dedicados a la venta de carne y pescado asados.

En la temporada de Zafra se encontraron concentraciones promedio en partículas $PM_{2.5}$ para las 24 horas de $62.42 \pm 22.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual rebasa los límites de la NOM 025 SSA1 025 ($45\mu\text{g}/\text{m}^3$) para un promedio de 24 horas. La figura 41 muestra las concentraciones de partículas para la temporada de Zafra.

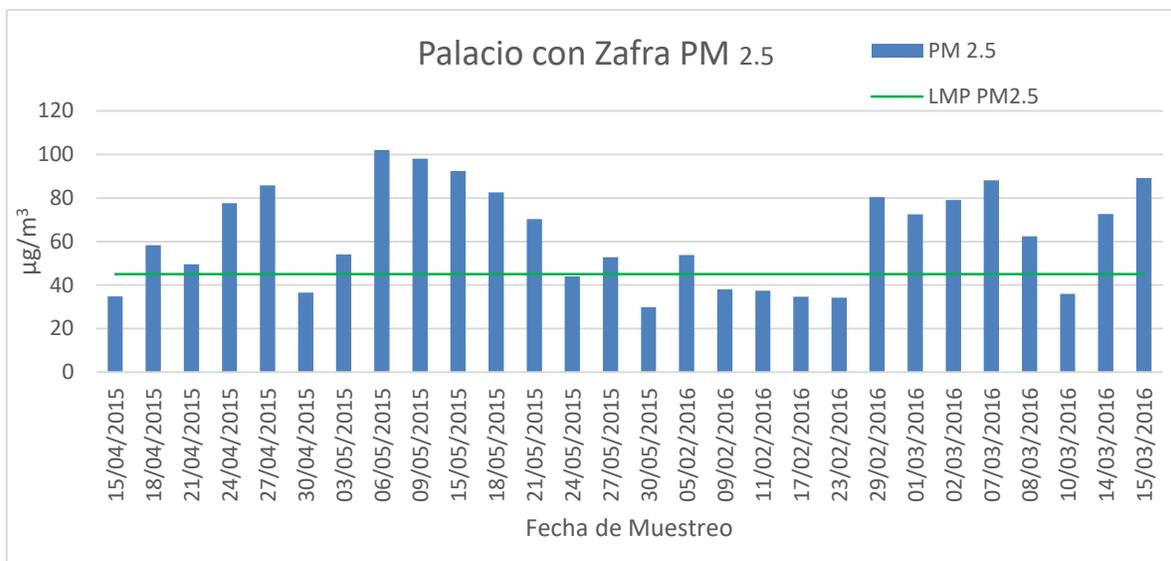


Figura 41. Concentración de partículas PM_{2.5} en Zafra para el sitio “El Palacio”.

La precipitación fue constante en al menos el 40% de los días muestreados, sin embargo las concentraciones son altas para más del 60% de los días muestreados, los vientos predominantes durante los primeros 4 meses del año, soplaban en sentido contrario al sitio de cañaverales, lugar donde se quema la mayor cantidad de caña lo que podría significar que las zonas más pequeñas de cañaverales ubicadas al Noroeste y la cercanía con los ingenios azucareros son las fuentes que afectan directamente el sitio.

Muestro en El Palacio Municipal en temporada Sin Zafra.

El muestreo fue realizado de Junio a Noviembre del 2015 donde se obtuvieron concentraciones promedio para 24 horas en partículas PM_{2.5} de $28.19 \pm 7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ las cuales no rebasan la NOM-025-SSA1-2014. Dichas concentraciones se muestran en la figura 42.

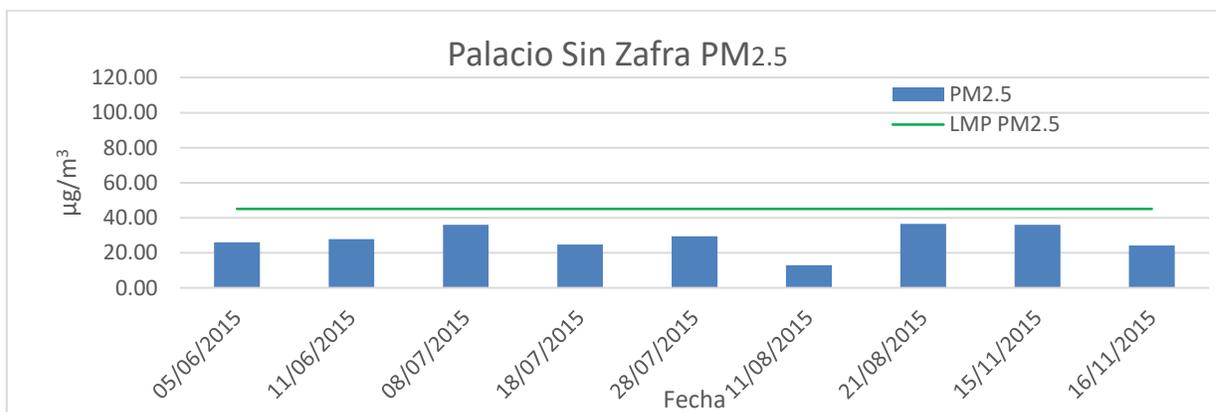


Figura 42. Concentración de partículas PM_{2.5} en temporada de Sin Zafra para el sitio “El Palacio”.

La concentración de partículas PM_{2.5} promedio nunca rebasaron la NOM 025 SSA1 2014 que tiene un límite en 24 horas de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{2.5}. Al igual que en Colpos, la lluvia ayuda a limpiar el aire influyendo directamente en la concentración de partículas.

Las pruebas realizadas de Mann-Whitney para el sitio “El Palacio” en partículas PM_{2.5} con un intervalo de confianza p <0.05 mostraron diferencias significativas entre las temporadas de Zafra y Sin Zafra (Anexo 2), lo que demuestra que durante la temporada de Zafra se emiten mayor concentración de partículas

Para ambos sitios (Colpos y El Palacio) cuando se tiene la temporada de Sin Zafra la Norma para partículas PM_{2.5} nunca fue rebasada mientras que en temporada de Zafra la Norma si fue rebasada para algunos días muestreados.

Estadística y comparación de resultados.

La estadística básica aplicada para la temporada de cosecha (Zafra) y después de la cosecha (Sin Zafra) en partículas PM₁₀ y PM_{2.5} se presenta en la tabla 17. Se observa que las concentraciones durante la Zafra fueron hasta 2 veces superiores a la temporada de Sin Zafra.

	PM ₁₀ Colpos		PM _{2.5} Colpos		PM _{2.5} Palacio	
	Zafra	Sin Zafra	Zafra	Sin Zafra	Zafra	Sin Zafra
Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	66.20	35.98	44.30	20.07	62.42	28.19
Desviación estándar	25.78	9.2	19	8.4	22.70	7.58
Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	147.06	57.12	90.26	41.72	102.12	36.59
Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29.69	22.45	13.89	12.52	29.87	13

Tabla 17. Estadística básica de concentraciones de partículas en Colpos y El Palacio.

En la figura 43 se muestran las concentraciones promedio para cada temporada donde se puede apreciar la comparación entre las diferentes temporadas (Zafra y Sin Zafra). Se puede apreciar la disminución general en las concentraciones de Zafra y Sin Zafra.

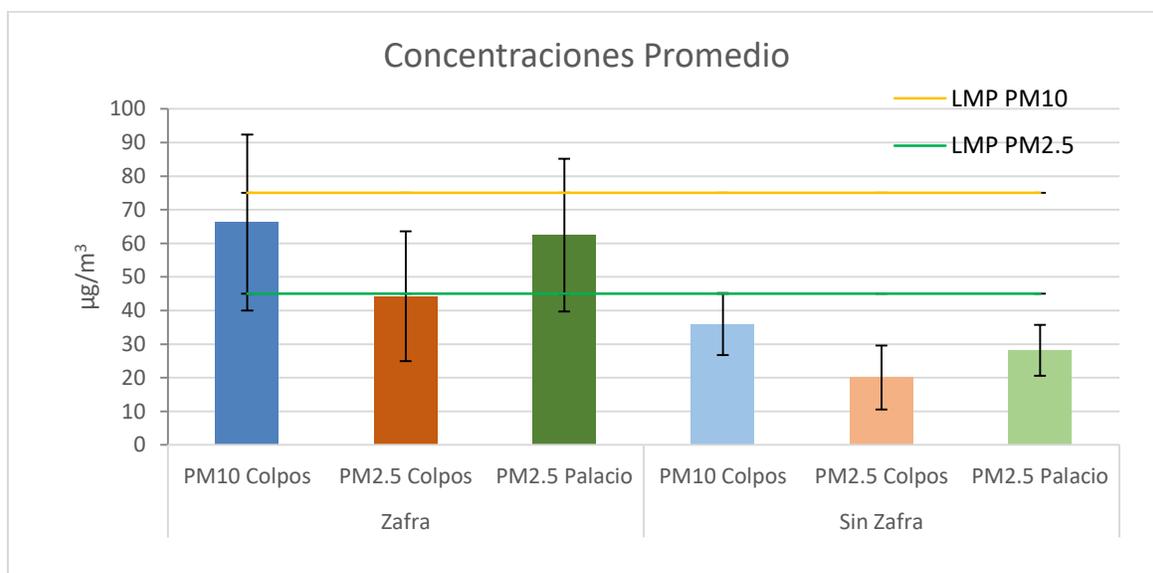


Figura 43. Comparación de concentraciones en PM₁₀ y PM_{2.5}.

Las cosechas están programadas bajo un calendario de quemas en las parcelas que se encuentran acomodadas aleatoriamente a lo largo de la zona cañera, esto puede ayudar a explicar la variación en las concentraciones. Las concentraciones permisibles promedio según la OMS (2011), son $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$ como promedio en 24 h, las cuales fueron rebasadas en temporada de Zafra, lo cual nos indica que la población se encuentra en riesgo por la exposición de partículas. Durante el muestreo en temporada de Zafra la NOM 025 SSA1 2014 fue rebasada para $\text{PM}_{2.5}$ en Colpos en un 46.9% de los muestreos y en el segundo sitio El Palacio para $\text{PM}_{2.5}$ en un 67.9% de los muestreos. Para PM_{10} , en Colpos fue rebasado en un 59.37% de los días muestreados. En la temporada Sin Zafra nunca se rebasó la NOM 025 SSA1 2014. La relación que existe con el incremento de partículas durante la temporada de Zafra parece indicar que la quema de caña para su cosecha está afectando directamente la ciudad de Córdoba Veracruz.

El aumento de partículas en el sitio El Palacio puede ser explicado por las distintas fuentes que se presentan alrededor del sitio de muestreo, estas fuentes operan de manera normal a lo largo del año, como los asadores de comida. En Colpos el número de actividades que se realizan son menores que en El Palacio.

Concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos

La Tabla 18 muestra los 17 HAP's por orden de peso molecular y la concentración promedio en Colpos para la temporada de Zafra y Sin Zafra, en los dos sitios de muestreo. Se aprecia que durante la Zafra se tuvieron concentraciones de hasta tres veces más altas que la Sin Zafra.

Compuesto	Zafra pg/m ³			Sin Zafra pg/m ³		
	PM ₁₀ Colpos	PM _{2.5} Colpos	PM _{2.5} Palacio	PM ₁₀ Colpos	PM _{2.5} Colpos	PM _{2.5} Palacio
Naftaleno	115±41	70±31	63±19	58±18	22±3	32±4
2-Metilnaftaleno	21±7.7	19±8	15±2	17±3	11±5	13±3
Acenaftileno	83±40	32±18	22±9	32±15	ND	5±0.8
Acenafteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fluoreno	18±7.6	14±8	5±3	1±0.5	3±1	4±0.6
Fenantreno	257±98	251±111	84±22	87±49	23±6	36±7
Antraceno	44±18	18±8	15±4	13±8	5±2	7±1
Fluoranteno	472±232	297±117	133±34	104±58	18±4	53±10
Pireno	461±256	303±131	126±34	116±38	60±7	49±10
Benzo[a]antraceno	200±110	99±75	61±35	77±29	26±9	24±6
Criseno + Trifenileno	251±101	133±94	107±67	62±28	20±5	41±10
Benzo[b]fluoranteno	894±454	810±463	311±127	237±98	106±7.6	132±49
Benzo[k+j]fluoranteno	503±197	476±298	343±152	328±144	116±8	144±53
Benzo[a]pireno	824±416	720±450	298±109	412±201	141±8	139±53
Indeno[1,2,3-cd]pireno	1053±355	773±439	509±103	667±375	180±8	304±98
Dibenzo[a,h]antraceno	123±58	71±19	86±41	157±47	72±6	118±33
Benzo[ghi]perileno	1504±541	1280±628	799±218	870±439	283±16	438±118

Tabla 18. Concentraciones promedio de HAP's en pg/m³.

La tabla 19 muestra la suma de los 18 HAP's en PM₁₀ y PM_{2.5} en temporada de Zafra y Sin Zafra.

	Colpos				Palacio	
	Suma de HAP's PM ₁₀		Suma de HAP's en PM _{2.5}		Suma de HAP's PM _{2.5}	
	Zafra	Sin Zafra	Zafra	Sin Zafra	Zafra	Sin Zafra
Concentración pg/m³	6822	1373	5366	1085	2978	1538
Desviación estándar	2842	550	2655	256	815	427
Máximo pg/m³	2021	1245	2025	252	1179	552
Mínimo pg/m³	7	5	9	3	12	3

Tabla 19. Estadística básica de las concentraciones de HAP's.

En las figuras 44, 45 y 46 se presenta la comparación de las concentraciones promedio de ambos muestreos por cada HAP, para los 2 sitios de muestreo (Colpos y El Palacio), lo que nuevamente muestra que las concentraciones en Zafra son hasta 3 veces mayores que en la temporada de Sin Zafra.

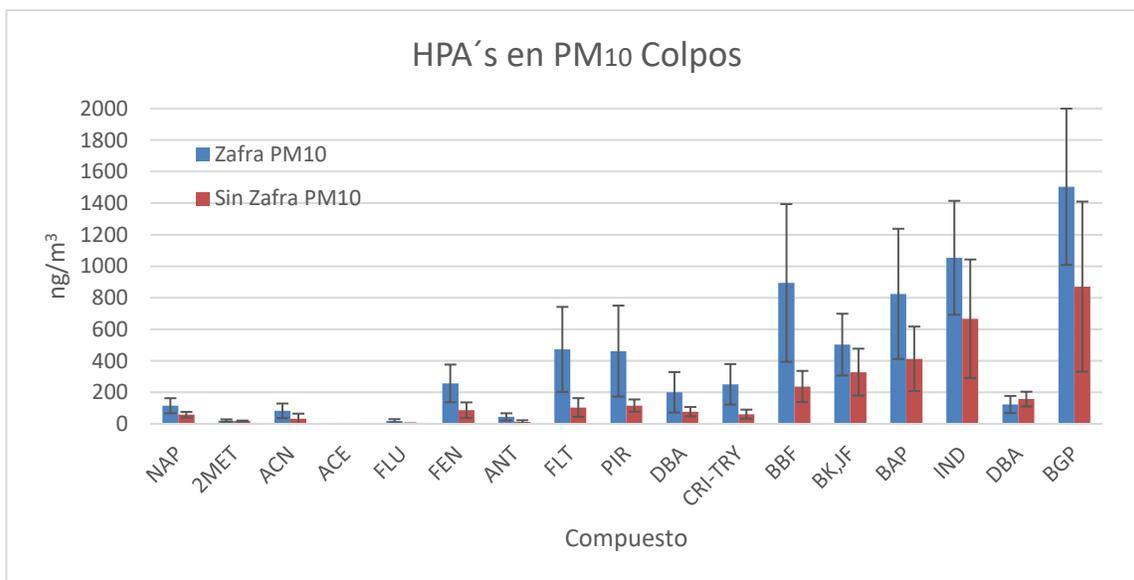


Figura 44. Comparativo de concentraciones promedio HAP en Colpos PM₁₀.

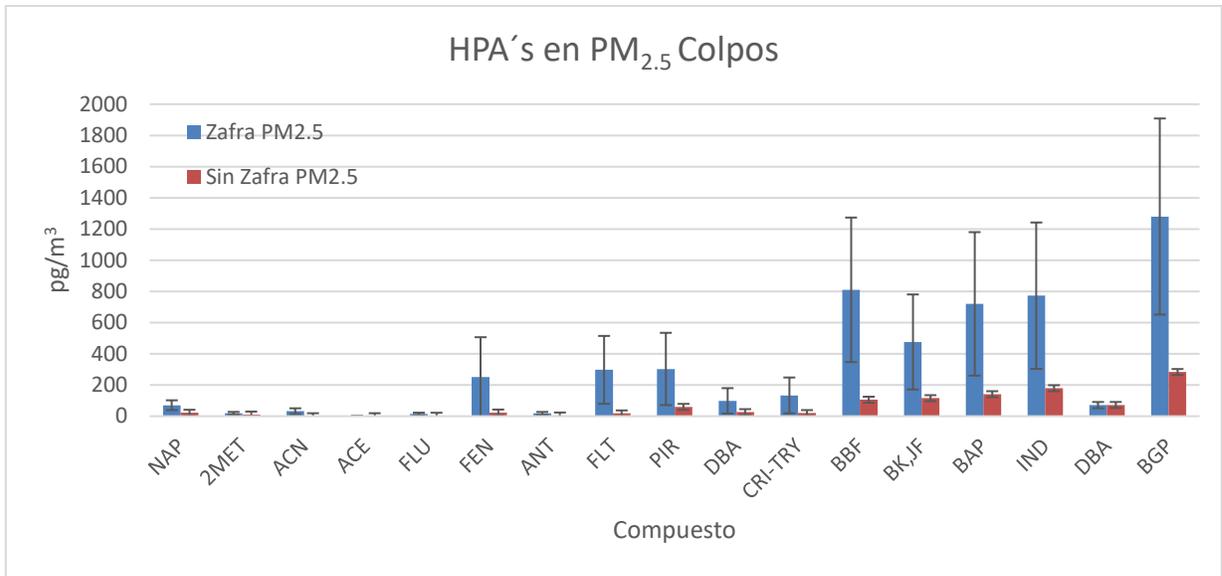


Figura 45. Comparativo de concentraciones promedio HAP en Colpos PM_{2.5}.

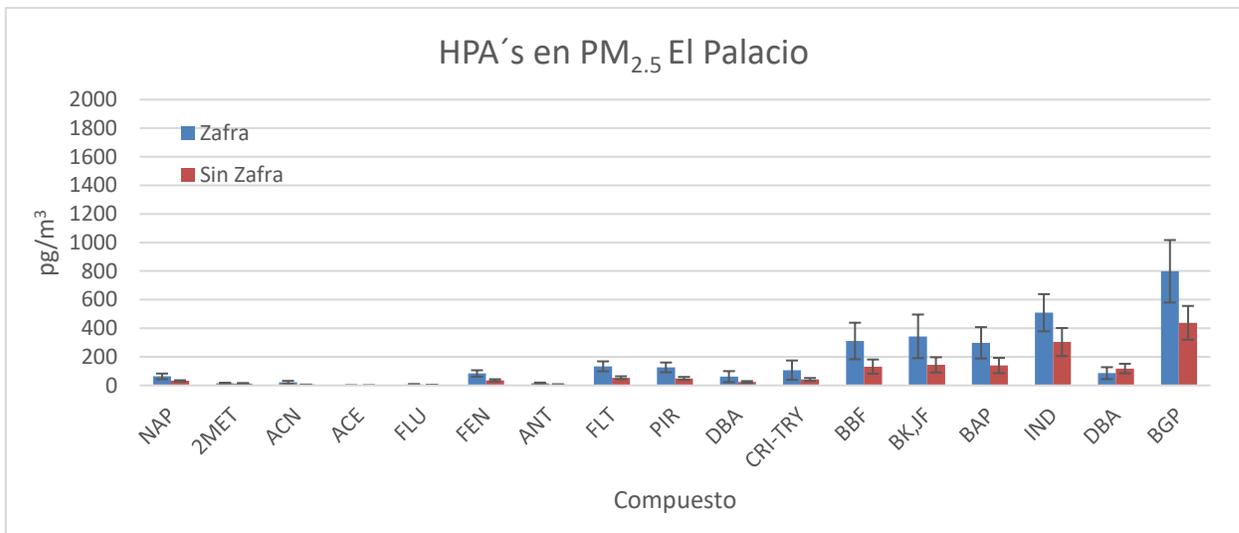


Figura 46. Comparativo de concentraciones promedio HAP en El Palacio PM_{2.5}.

Estos resultados muestran que la concentración de HAP's en PM_{2.5} para el sitio Colpos es más alta que en el sitio El Palacio, lo que se puede explicar por la cercanía de Colpos con la zona cañaveral y la dirección de vientos predominantes que favorecerían el sitio de Colpos en temporada de Zafra, pero no es así el caso para la temporada de Sin Zafra, esto puede deberse al flujo vehicular alrededor del sitio El Palacio, en la época Sin Zafra.

Para PM₁₀ en Colpos se puede observar que en la disminución de HAP's de la temporada de Zafra a la temporada de Sin Zafra es de 43% y en PM_{2.5} para el mismo sitio se tiene una disminución de cerca del 75%.

Los HAP's que se presentaron con mayor proporción en Colpos para PM₁₀ y PM_{2.5} fueron Benzo [ghi] perileno, Indeno [1,2,3-c,d] pireno, Benzo [b] fluoranteno, Benzo [k,j] fluoranteno y Benzo [a] pireno, que son compuestos de mayor peso molecular que se han clasificado como posibles carcinógenos para la EPA; para el sitio El Palacio se presentó un comportamiento similar en el orden de abundancia de HAP's. Se consideran compuestos altamente peligrosos por presentar actividad mutagénica y genotóxica sin embargo no todos los HAP's han mostrado poseer efectos carcinogénicos, genotóxicos o mutágenos y en ocasiones el efecto se atribuye a la presencia conjunta de más de un compuesto de la familia y de alguno de sus derivados como se muestra en la tabla 20 (Matandrea *et al.*, 2005).

HAP's	Carcinogenicidad	Genotoxicidad	Mutagenicidad
Fenantreno	I	L	+
Antraceno	N	N	-
Pireno	N	L	+
Benzo [a] antraceno	S	S	+
Benzo [a] Pireno	S	S	+
Benzo [ghi] perileno	I	I	+

S=Suficiente, I=Insuficiente, N=no, L=Limitado Mutagenicidad (Test de Ames)=+ Positivo, - Negativo

Tabla 20. Datos de efectos de los HAP's. Modificada de (Matandrea *et al.*, 2005).

De los HAP's el que tuvo la mayor concentración fue el Benzo [ghi] perileno que cuenta con toxicidad mutagénica pero es insuficiente como carcinógeno y genotóxico. Además, Mugica *et al.*, (2004), realizaron trabajos en la ciudad de México donde los HAP's de mayor concentración fueron Benzo (ghi) perileno, Indeno (1,2,3-c,d) pireno y Benzo (b) fluoranteno, lo que puede atribuirse al alto aforo vehicular presente en el valle de México y la industria presente. Otros autores como Ravindra *et al.*, 2008, encuentran como marcadores de fuentes vehiculares al benzo [ghi] perileno.

En este estudio, la presencia de estos compuestos puede deberse también a fuentes vehiculares ya que Colpos se encuentra entre la vertiente geográfica de la Carretera Federal Córdoba-Veracruz y la autopista Córdoba-Veracruz que es transitada todo el año y en El Palacio Municipal se encuentra el transporte público y vehículos automotores que contribuyen a la concentración de algunos de estos HAP's, como el benzo[ghi]perileno, conocido como marcador de emisión de vehículos.

Algunos autores presentan al Antraceno y Fenantreno como marcadores de quema de caña ya que Andrade *et al.*, (2010) concluyen que durante la quema de caña las concentraciones más elevadas fueron de Fenantreno, Fluoranteno y Antraceno. Mugica *et al.*, (2015) reportaron diferencias significativas en las temporadas de Zafra y Sin Zafra encontrando alrededor de 4 veces mayor la concentración del indeno [1,2,3 cd] pireno, Benzo [b] fluoranteno, Benzo [a] pireno y Dibenzo [a,h] antraceno. Asimismo, se sugirió como marcadores de la quema de caña al Antraceno, Fenantreno, Fluoranteno y Pireno, mientras que para el ingenio azucarero los posibles marcadores encontrados fueron Benzo [a] antraceno, Benzo [b] fluoranteno, Benzo [k] fluoranteno, Benzo [a] pireno, Indeno [1,2,3 cd] pireno y Benzo [ghi] perileno. Estos marcadores fueron encontrados durante la temporada de Zafra en el presente estudio.

Cardenas (2014) realizó un estudio en el valle del río Cauca, Colombia, para determinar los posibles HAP's asociados a la quema de caña encontrando al Pireno, Fenantreno y Fluoranteno.

En el presente trabajo se presentó para HAP's en PM₁₀ una disminución en la temporada de Sin Zafra para el Fenantreno de hasta 3 veces con respecto a la Zafra y para PM_{2.5} de hasta 10 veces para el sitio Colpos, siendo El Palacio el menos afectado con una disminución de 2 veces en PM_{2.5}. Las pruebas realizadas de Mann-Whitney para los sitios "Colpos" y "El Palacio" en partículas con un intervalo de confianza p <0.05 muestran diferencia significativa entre la temporada de Zafra y Sin Zafra (Anexo 5) para los siguientes HAP's de la tabla 21:

PM ₁₀ Colpos	PM _{2.5} Colpos	PM _{2.5} El Palacio
Naftaleno	Fluoreno	Naftaleno
Fenantreno	Fenantreno	Fenantreno
Fluoranteno	Fluoranteno	Antraceno
Pireno	Pireno	Fluoranteno
Criseno+Trifenileno	Benzo [a] antraceno	Pireno
Benzo [b] fluoranteno	Criseno+Trifenileno	Benzo [a] antraceno
Benzo (k+j) fluoranteno	Benzo [b] fluoranteno	Criseno+Trifenileno
Benzo [a] pireno		Benzo [b] fluoranteno
Indeno [1,2,3-cd] pireno		Benzo (k+j) fluoranteno
Benzo [ghi] perileno		Benzo [a] pireno
		Indeno [1,2,3-cd] pireno
		Benzo [ghi] perileno

Tabla 21. HAP's con diferencias significativas por temporada.

Potencial cancerígeno de las partículas

Las implicaciones en la salud son muy importantes cuando se habla de emisiones, partículas atmosféricas e HAP's, ya que algunos de estos tienen propiedades mutagénicas y carcinogénicas, lo que resulta una implicación negativa para la salud de la gente que se encuentra expuesta.

La concentración total de BAPEq, es una estimación de la potencia cancerígena total de una mezcla de HAP relacionada con la de Benzo [a] pireno (BAP). La tabla 22 muestra los índices de toxicidad obtenidos en este trabajo, que se obtienen al multiplicar la concentración promedio del compuesto por el TEF (Toxic Equivalence Factor) correspondiente al BAPEq; los factores de toxicidad usados fueron los de Nisbet y LaGoy (1992) que hasta ahora son los más aceptados por la comunidad científica.

En el primer muestreo, la concentración de BAPEq en Colpos para partículas PM_{2.5} fue de 1022 pg/m³ y para PM₁₀ de 1231 pg/m³ mostrando diferencias de 74% y 42% respectivamente, en El Palacio la concentración de BAPEq en partículas PM_{2.5} fue de 516 pg/m³ con una diferencia de 37%. En México no existe legislación con un límite establecido para la exposición a BAPEq, es por esto que se ha tomado como referencia lo establecido por la legislación de la Comunidad Europea que es igual a 1.0 ng/m³ como valor máximo de exposición anual para PM₁₀. Durante el primer muestreo para Colpos se obtuvieron concentraciones promedio de 1.022 ng/m³ en PM_{2.5} y 1.231 ng/m³ en PM₁₀.

Compuesto	BAPEq [pg/m ³]						
	TEF (Toxic Equivalency Factor)	Zafra			Sin Zafra		
		Colpos PM _{2.5}	El Palacio PM _{2.5}	Colpos PM ₁₀	Colpos PM _{2.5}	El Palacio PM _{2.5}	Colpos PM ₁₀
Naftaleno	0.001	0.07	0.063	0.115	0.022	0.032	0.058
2-Metilnaftaleno	0.001	0.019	0.015	0.021	0.011	0.013	0.017
Acenaftileno	0.001	0.032	0.022	0.083	0	0.005	0.032
Acenafteno	0.001	0	0	0	0	0	0
Fluoreno	0.001	0.014	0.005	0.018	0.003	0.004	0.001
Fenantreno	0.001	0.251	0.084	0.257	0.023	0.036	0.087
Antraceno	0.01	0.18	0.15	0.44	0.05	0.07	0.13
Fluoranteno	0.001	0.297	0.133	0.472	0.018	0.053	0.104
Pireno	0.001	0.303	0.126	0.461	0.06	0.049	0.116
Benzo [a] antraceno	0.1	9.9	6.1	20	2.6	2.4	7.7
Criseno + Trifenileno	0.01	1.33	1.07	2.51	0.2	0.41	0.62
Benzo[b]fluoranteno	0.1	81	31.1	89.4	10.6	13.2	23.7
Benzo[k+j]fluoranteno	0.1	47.6	34.3	50.3	11.6	14.4	32.8
Benzo[a]pireno	1	720	298	824	141	139	412
Indeno[1,2,3- cd]pireno	0.1	77.3	50.9	105.3	18	30.4	66.7
Dibenzo[a,h]antraceno	1	71	86	123	72	118	157
Benzo [g,h,i] perileno	0.01	12.8	7.99	15.04	2.83	4.38	8.7
Total de equivalencia Benzo [a]pireno		1022	516	1231	259	322	710

Tabla 22. Potencial cancerígeno en BAPEq

Al realizar las conversiones respectivas para el segundo muestreo Sin Zafra se tienen valores de BAPEq en pg/m³ para el sitio Colpos en PM₁₀ y PM_{2.5} de 0.259 pg/m³ y 0.710 pg/m³ y para El Palacio en partículas PM_{2.5} se obtuvo una concentración de 0.322 pg/m³. La legislación tomada como referencia no es superada en la temporada de Sin Zafra, pero para la Zafra los valores de BAPEq son rebasados en 120% para PM₁₀ y 102% en PM_{2.5} del límite de exposición recomendado, la población se encuentra más expuesta a HAP's en temporada de Zafra, aumentando su probabilidad de desarrollar algún tipo de cáncer.

Concentraciones de CO y CE.

Los aerosoles carbonáceos $PM_{2.5}$ presentes durante la campaña de Zafra en Colpos se muestran en la figura 47 y Sin Zafra la figura 48 respectivamente. Se observa que la concentración promedio de CO es hasta 6 veces más alta con respecto a la de CE para la temporada de Zafra.

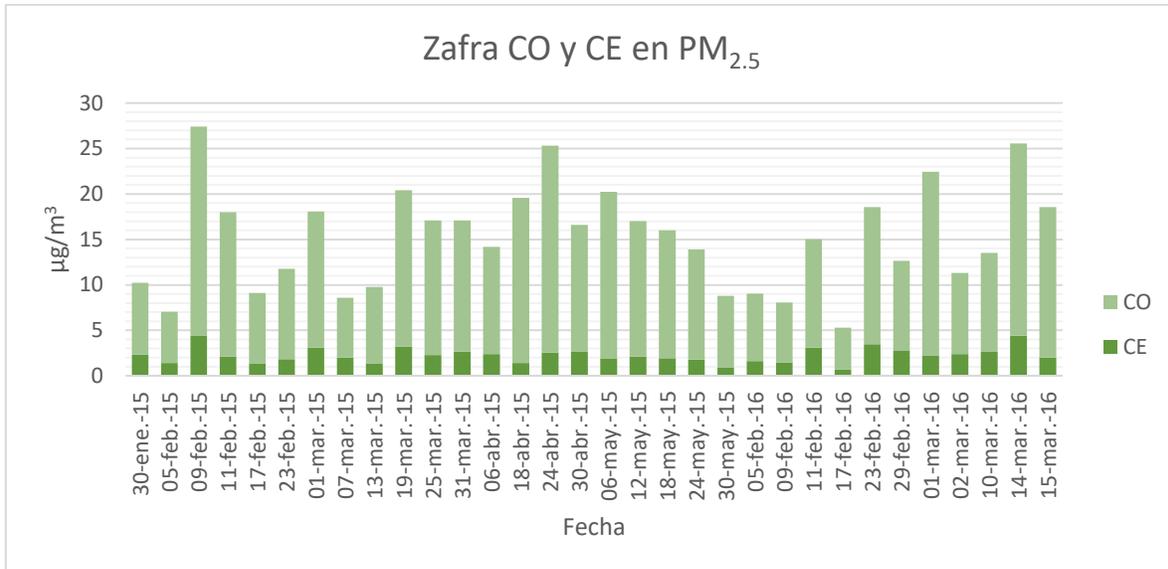


Figura 47. Concentración $PM_{2.5}$ Zafra de CO y CE en Colpos.

En PM_{10} el CO aumenta hasta 7 veces con respecto a la concentración de CE

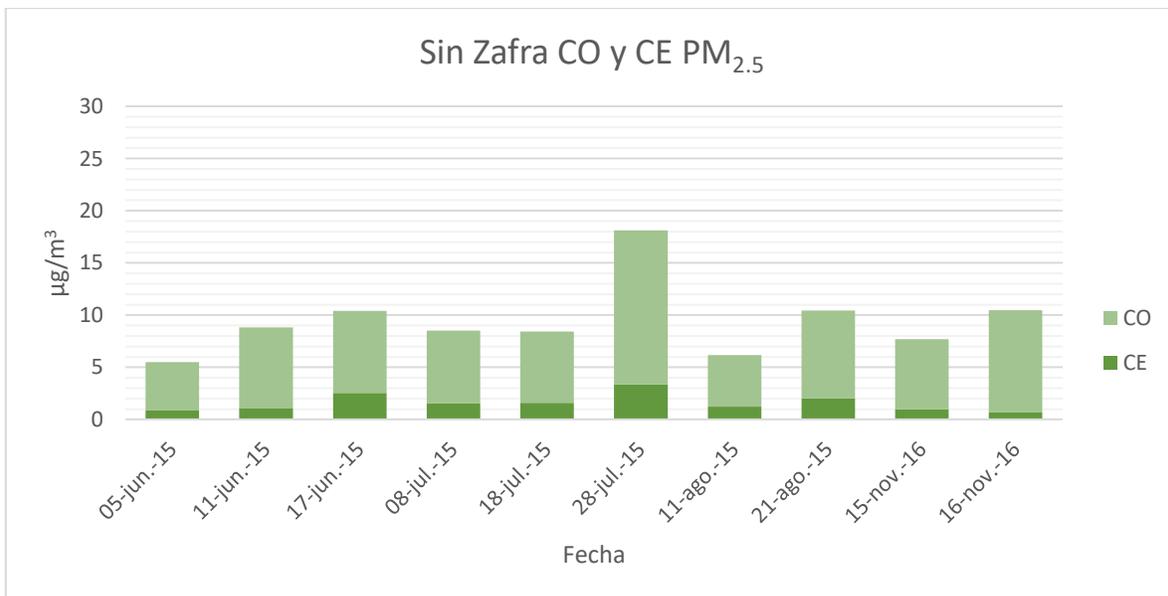


Figura 48. Concentración $PM_{2.5}$ Sin Zafra de CO y CE en Colpos.

El aumento en el carbono orgánico está relacionado con la quema de biomasa lo que indica que el sitio es afectado por la temporada de Zafra como fue el caso en Chiapas (Santiago, 2014).

Las concentraciones de CO y CE de PM₁₀ en Colpos son presentadas en las figuras 49 (Zafra) y 50 (Sin Zafra), donde se observa que el aumento de CO con respecto al CE es de hasta 9 veces la concentración. En comparación con el sitio Colpos para El Palacio se tiene un aumento de 151% para CO

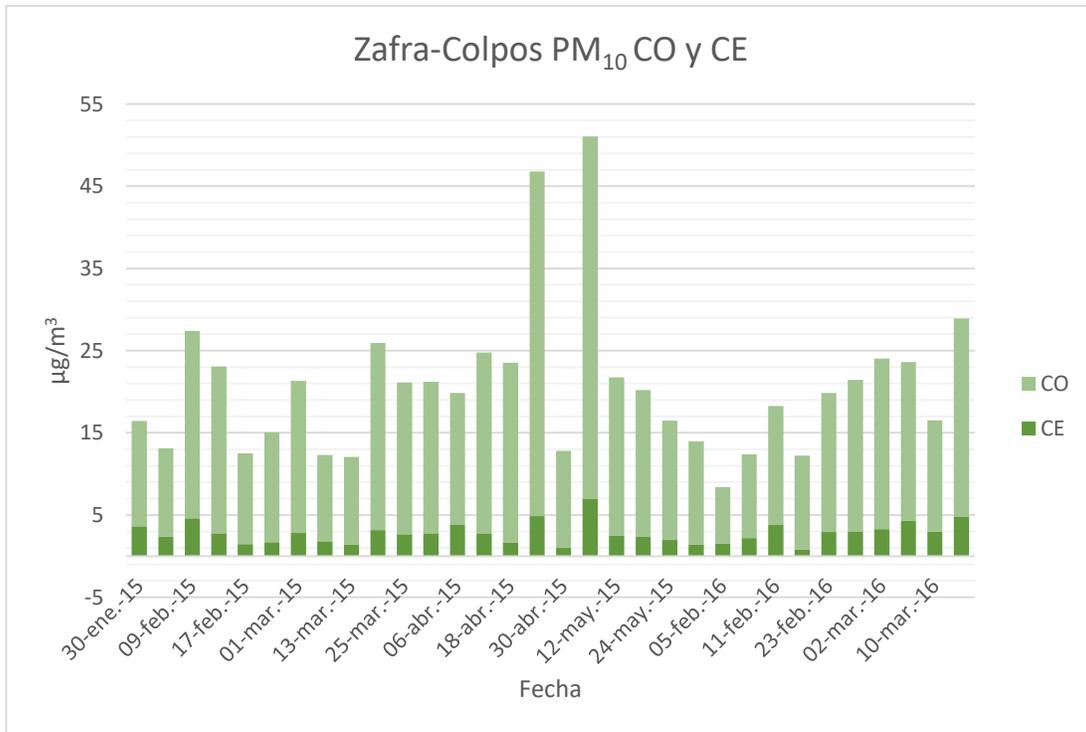


Figura 49. Concentración en Zafra PM₁₀ de CO y CE en Colpos.

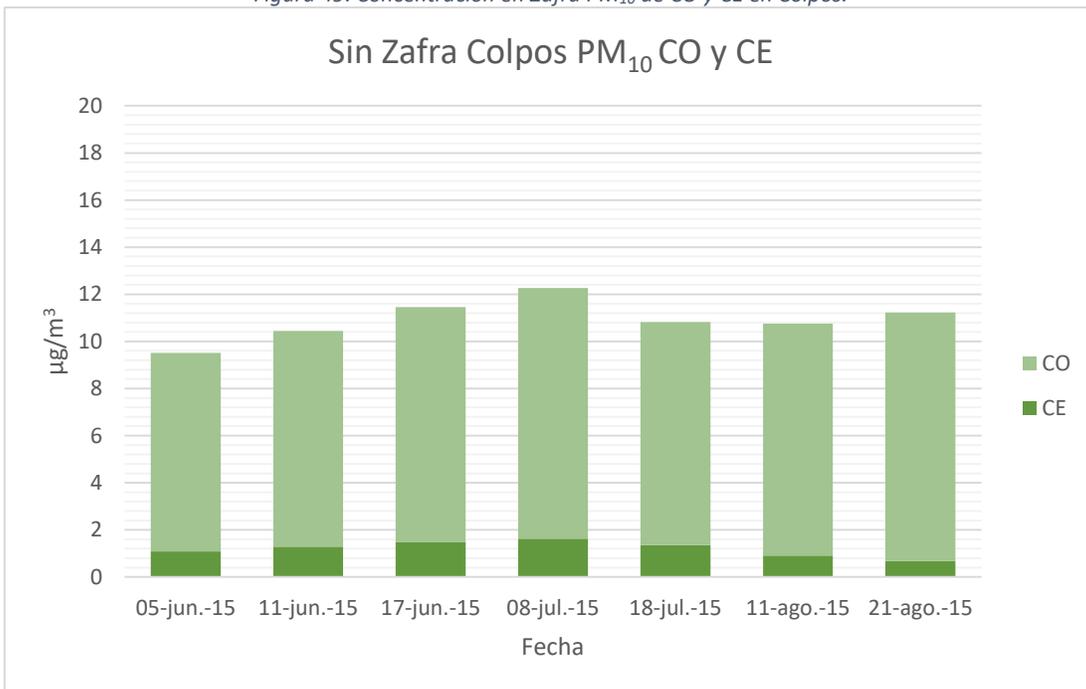


Figura 50. Concentración Sin Zafra PM₁₀ de CO y CE en Colpos.

Las concentraciones de CO y CE de PM_{2.5} en El Palacio se presentan en las figuras 51 (Zafra) y 52 (Sin Zafra).

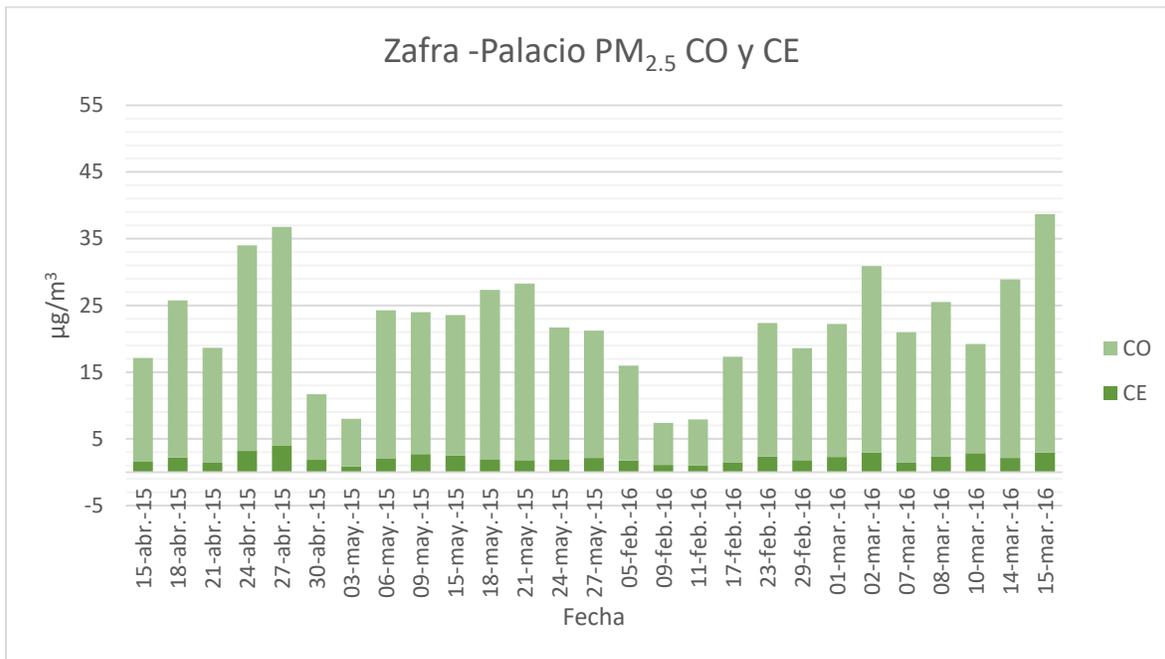


Figura 51. Concentración PM_{2.5} durante Zafra de CO y CE en El Palacio.

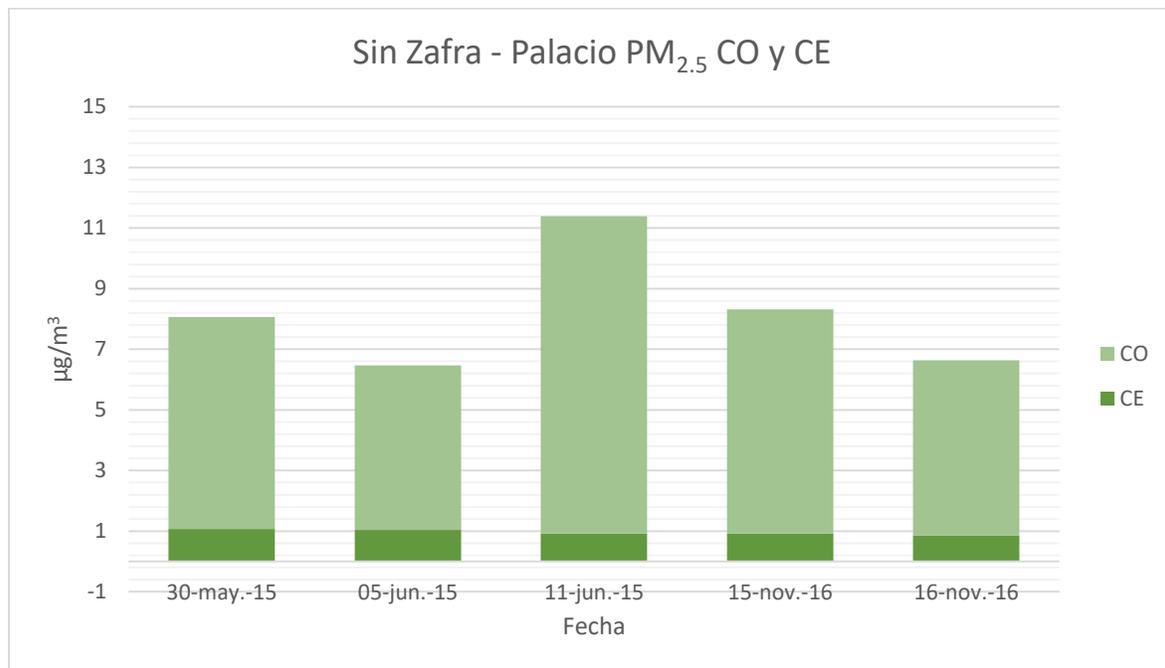


Figura 52. Concentración PM_{2.5} en temporada Sin Zafra de CO y CE en El Palacio.

La Tabla 23 muestra la estadística básica para los compuestos carbonáceos de los muestreos en Colpos y El Palacio para los diferentes tamaños de partícula.

CO y CE en PM _{2.5} , Colpos µg/m ³						
	Zafra CO	Zafra CE	Zafra CT	Sin Zafra CO	Sin Zafra CE	Sin Zafra CT
Promedio	13.1	2.3	15.4	7.8	1.6	9.4
Max	23.0	4.4	27.4	14.8	3.4	18.1
Min	4.6	0.7	5.3	4.6	0.7	5.5
Desviación estándar	5.1	0.8	5.7	2.7	0.8	3.3
CO y CE en PM ₁₀ , Colpos µg/m ³						
	Zafra CO	Zafra CE	Zafra CT	Sin Zafra CO	Sin Zafra CE	Sin Zafra CT
Promedio	17.8	2.8	20.6	9.7	1.2	10.9
Max	44.0	7.0	51.0	10.6	1.6	12.3
Min	6.9	0.8	8.4	8.4	0.7	9.5
Desviación estándar	8.0	1.3	9.1	0.8	0.3	0.9
CO y CE en PM _{2.5} , Palacio µg/m ³						
	Zafra CO	Zafra CE	Zafra CT	Sin Zafra CO	Sin Zafra CE	Sin Zafra CT
Promedio	19.8	2.1	21.9	7.2	1.0	8.2
Max	35.7	4.0	38.7	10.5	1.1	11.4
Min	6.3	0.9	7.4	5.4	0.9	6.5
Desviación estándar	7.4	0.7	8.0	2.0	0.1	2.0

Tabla 23. Estadística básica para CO, CE y CT en Colpos y El Palacio.

Se puede observar que hubo una disminución de la temporada de Zafra con respecto a la temporada de Sin Zafra para CO en Colpos de 40% y 45% para PM_{2.5} y PM₁₀ respectivamente, en El Palacio la disminución fue de 36% para PM_{2.5}.

Para el CE en Colpos la disminución para la temporada de Sin Zafra fue de 30.4% y 57.14% en PM_{2.5} y PM₁₀, en El Palacio hubo una disminución en temporada de Sin Zafra de 52% para PM_{2.5}. La temporada de Zafra aumenta en al menos un 40% la concentración de CO y CE que cuando es la temporada de Sin Zafra, la tabla 24 muestra concentraciones de CE en temporada de Zafra medidos con método termo óptico de trabajos similares. Ambos sitios desarrollan actividades distintas y la población del sitio Colpos es inferior a la población en El Palacio.

Lugar	CE en PM _{2.5} µg/m ³	Autor
Chiapas	1.07	Santiago y Mugica, 2014
Ciudad de México	13.85	Chow <i>et al.</i> , 2002
Veracruz Córdoba	3.69	Santiago y Mugica, 2014
Valle del rio Cauca	8	Prada, Robaño 2012
Presente trabajo (Córdoba y Amatlán de los Reyes Veracruz)	2.2	-

Tabla 24. Concentración de CE en PM_{2.5} durante la temporada de Zafra.

La Ciudad de México tiene las concentraciones más altas debido a una mayor actividad industrial y vehicular seguida por Veracruz y Chiapas. En ciudades la concentración de CE se eleva debido al alto tráfico vehicular como coinciden Escudero *et al.*, 2005, Lara y colaboradores (2005) realizaron la cuantificación de especies carbonáceas solamente en $PM_{2.5}$ y encontraron aumento del 100% durante la época de Zafra en comparación a la época de Sin Zafra.

De las pruebas estadísticas Mann-Whitney realizadas para los sitios Colpos y El Palacio en partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} con un intervalo de confianza $p < 0.05$ muestran que hay diferencia significativa entre la temporada de Zafra y Sin Zafra en CO y CE para todos los tamaños de partícula en ambos sitios (Anexo 3 y 4).

Cuantificación de carbono negro por método óptico.

Las figuras 53 y 54 muestran la relación del CN medido por el equipo SootScan que posee como principio de medición un método óptico y el CE medido por el método termo óptico en el equipo Sunset.

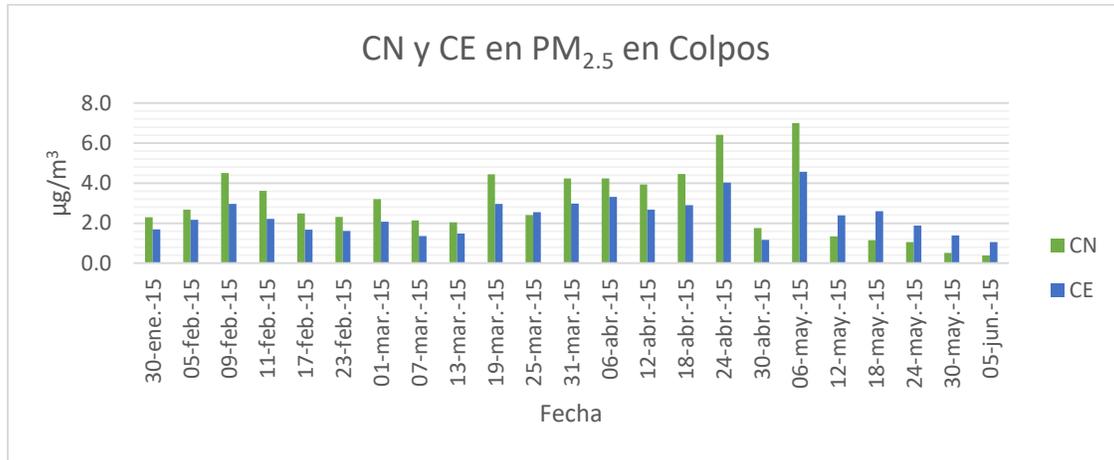


Figura 53. Relación de CN y CE en PM_{2.5} en Colpos.

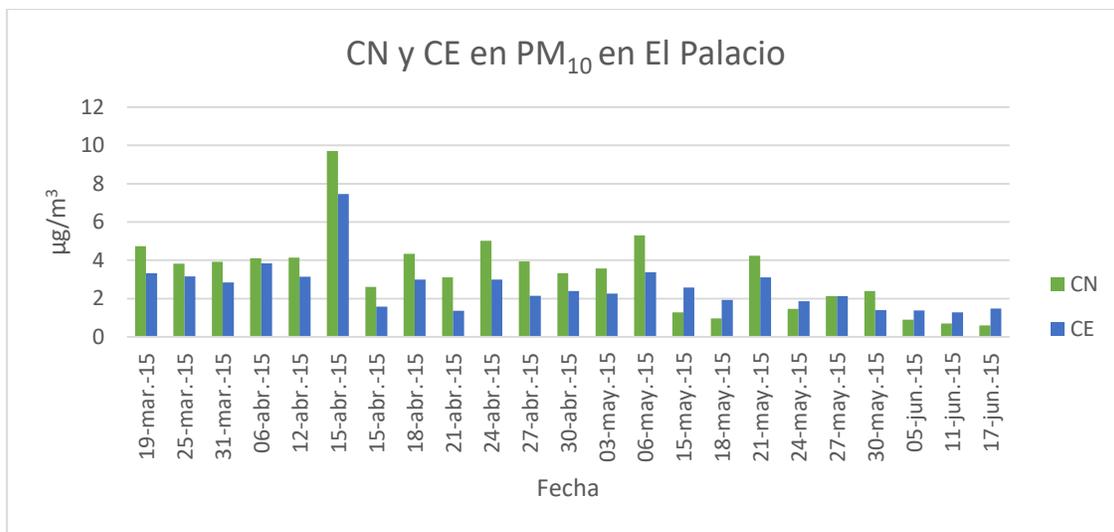


Figura 54. Relación de CN y CE en PM₁₀ en El Palacio.

La tabla 25 muestra la relación entre los métodos cuantificados para CN y CE en las muestras analizadas.

	SootScan CN PM ₁₀	Sunset CE PM ₁₀	SootScan CN PM _{2.5}	Sunset CE PM _{2.5}
Promedio µg/m ³	3.3	2.6	3	2.3
Desviación estándar	0.6	1.3	1.73	0.89
Max µg/m ³	9.7	7.5	7	4.6
Min µg/m ³	2	1.3	0.4	1.1

Tabla 25 Comparación estadística de SootScan y Sunset en µg/m³.

El método óptico Soos Scan y Termo óptico Sunset se utilizan para la medición de aerosoles carbonáceos. Cuando se realiza la medición de aerosoles provenientes de la quema de biomasa tienen presencia de sustancias húmicas (conocido como carbono café), las cuales absorben débilmente la luz en el rango visible, teniendo su máxima absorción en bajas longitudes de onda (UV) (Santiago, 2014). Por lo que el método termo-óptico resulta ser el más eficiente al cuantificar toda la cantidad de materia orgánica por medio de una rampa de temperatura (650°C) en comparación con el método óptico que en cuanto mayor sea la concentración del filtro mayor puede ser el error.

Los resultados obtenidos por las pruebas estadísticas Mann-Whitney un intervalo de confianza $p < 0.05$ muestran que existe diferencia significativa entre el equipo Sootscan y Sunset para la medición de carbono orgánico y elemental en las muestras analizadas $PM_{2.5}$ y PM_{10} . Lo que indica que no se puede decir que los métodos sean equivalentes (Anexo 6).

Composición elemental de las partículas.

En las figuras 55 y 56 se puede observar la composición promedio en temporada de Zafra y Sin Zafra para $PM_{2.5}$ y PM_{10} en Colpos. El Carbono Orgánico ocupa más del 50% del total del filtro y la presencia de aerosoles inorgánicos secundarios ocupa más del 15% del total del filtro para la temporada de Zafra.

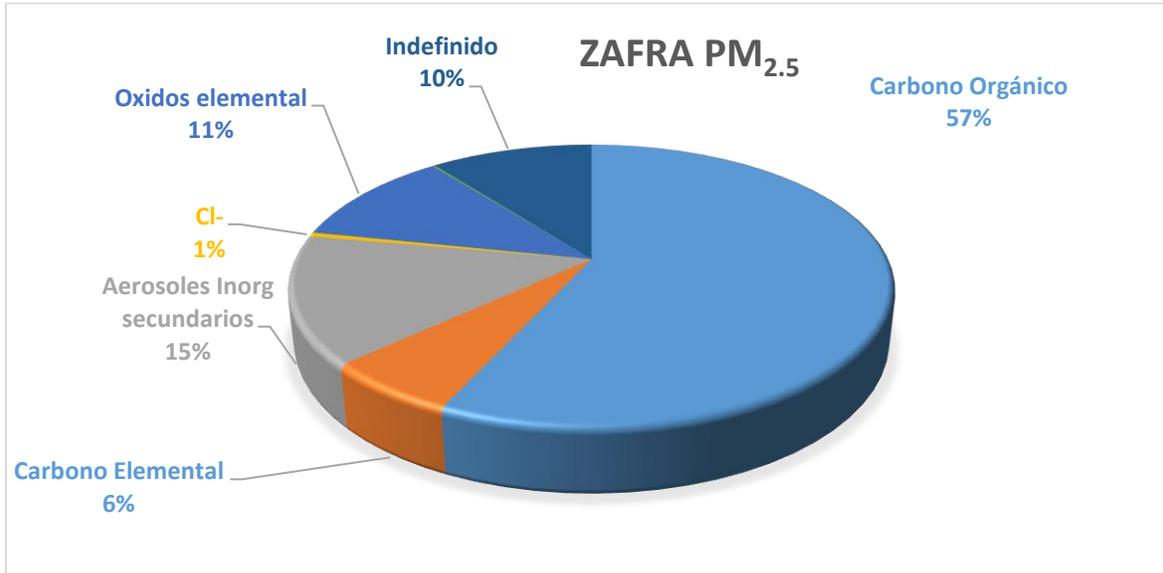


Figura 55. Caracterización promedio de $PM_{2.5}$ en temporada de Zafra en Colpos.

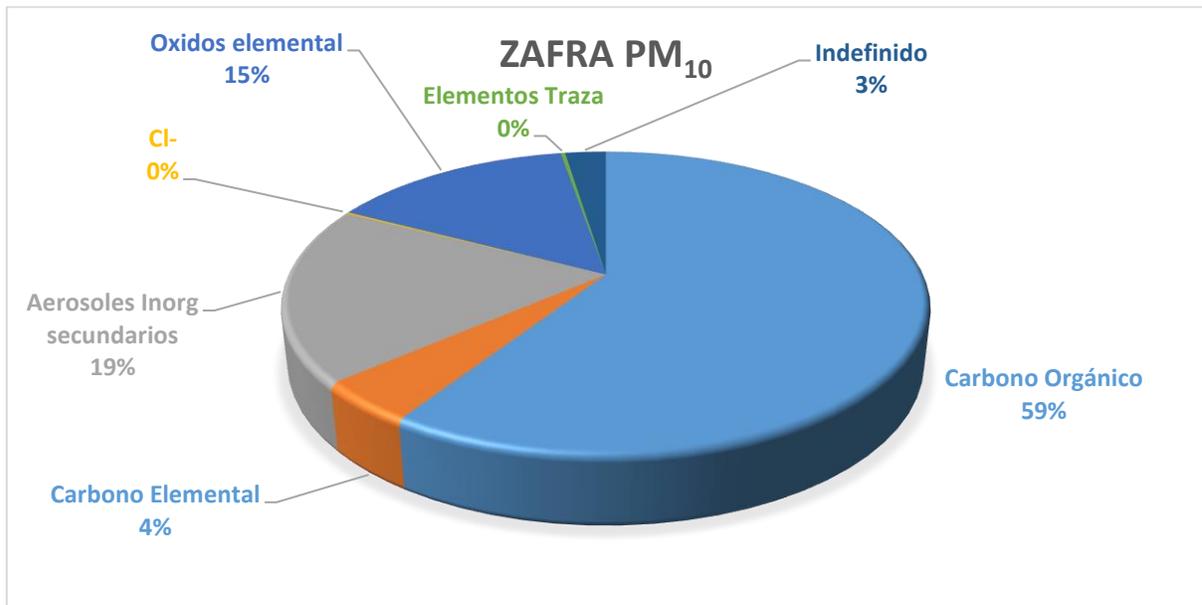


Figura 56. Caracterización promedio de PM_{10} en temporada de Zafra en Colpos.

En la tabla 26 se presenta la comparación de la caracterización de las partículas entre la temporada de Zafra y Sin Zafra para PM₁₀ y PM_{2.5}. Se observan aumentos en la concentración promedio de CO durante la temporada de Zafra de hasta 4 veces con respecto a la temporada de Sin Zafra, mientras que para el CE se tienen aumentos de hasta 3 veces. El aumento de los aerosoles inorgánicos durante la temporada de Zafra es de hasta 3 veces, mientras que los elementos traza tienen aumentos de hasta 10 veces lo cual puede justificarse debido al aumento en la producción de partículas de combustión durante la temporada de Zafra.

Temporada	PM _{2.5} Colpos µg/m ³		PM ₁₀ Colpos µg/m ³		PM _{2.5} El Palacio µg/m ³	
	Zafra	Sin zafra	Zafra	Sin zafra	Zafra	Sin Zafra
CO	29.2±5.1	7.9±3.1	37.4±8	13.8±0.8	37.6±7.4	13.6±3.1
CE	3.2±0.8	0.9±0.7	2.8±1.3	1.1±0.3	2.8±0.7	1.4±0.5
Aerosoles Inorg. secundarios	7.5±4.6	3.3±1.8	11.9±3.8	4.5±2.1	10.6±4.2	5.8±1.3
Cl-	0.3±0.07	ND	0.1±0.01	ND	0.1±0.01	0.6±0.04
Óxidos	5.7±2.75	0.3±0.04	9.2±3.5	1.7±0.8	4.0±.9	1.2±0.02
Elementos Traza	0.1±0.01	ND	0.2±0.0	0.1±0.0	0.3±0.01	0.1±0.0
Indefinido	5.4±1.2	1.5±0.1	1.5±0.1	2.8±0.8	1.7±0.8	2.0±0.5

Tabla 26. Composición Promedio en temporada de Zafra y Sin Zafra para PM_{2.5} y PM₁₀.

Los Óxidos son compuestos de SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, K₂O, MgO, Na₂O, P₂O₅ y TiO₂.

Las partículas primarias representan cerca del 50% y se complementa el otro 50% de partículas secundarias, las partículas secundarias se originan por reacciones que ocurren en la atmósfera a partir de materias gaseosas de origen natural o producto de actividades humanas; sulfatos, nitratos, sales inorgánicas de amoníaco e hidrocarburos.

Aplicación del Modelo CMB.

Con el fin de determinar el desempeño del modelo, se compararon las concentraciones medidas y calculadas, esta relación se muestra en la figura 55. La relación de las muestras en Colpos y El Palacio presenta buen desempeño general para la aplicación del modelo al ser evaluado con el coeficiente de correlación lineal (R^2) entre la concentración medida y la concentración ajustada de las muestras analizadas de Colpos y El Palacio de 0.95, la línea roja muestra una comparación de ajuste perfecto ($R^2=1$).

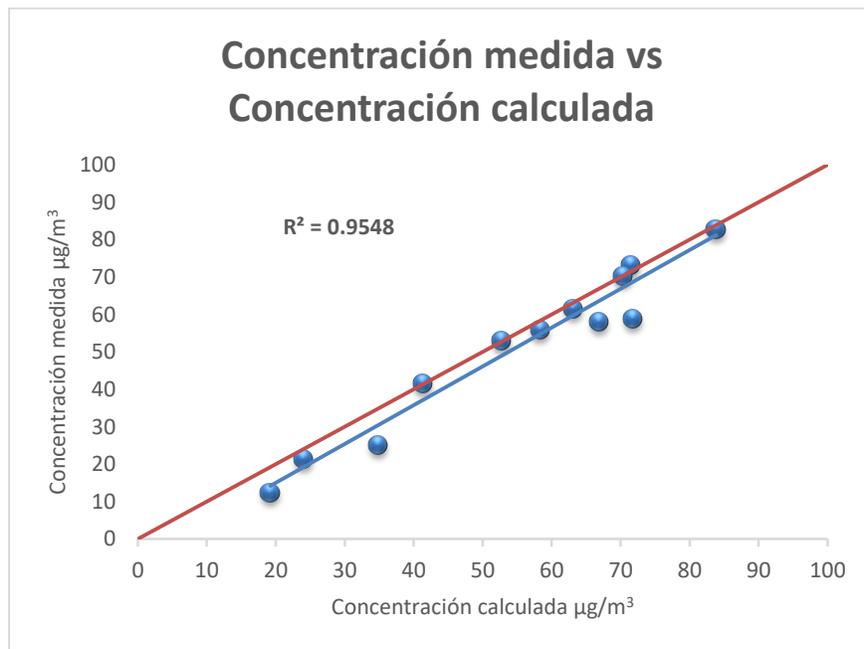


Figura 55. Comparación de concentraciones medida y calculada.

La Tabla 27 muestra las variables promedio de las muestras que fueron introducidas en el programa CMB 8.2 donde el modelo considera como buen ajuste cuando se tiene R^2 mayor a 0.8 los grados de libertad mayor a 5 CHI^2 menor a 4 y % de masa se encuentre entre 80-120, por lo que se considera un buen ajuste.

	R^2	CHI^2	Grados de Libertad	% de masa calculada
Zafra Colpos	0.95	3.80	5.14	103.5
Sin Zafra Colpos	0.93	3.5	5.2	95.6
Zafra El Palacio	0.95	3.85	6.75	100.6
Sin Zafra El Palacio	0.98	4.4	4.7	105.4

Tabla 27. Estadística del programa CMB para ambos sitios de muestreo.

Las fuentes de mayor aportación durante la temporada de Zafra en el primer sitio de muestreo Colpos fueron el uso de diésel, gasolina y la preparación de alimentos ocupando el 50% del total de partículas. La contribución promedio del uso del diésel fue de $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (16%), de gasolina 9.5

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (18%) y preparación de alimentos con $9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (16.7%) de partículas, mientras que las quemas aportaron $5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10.2%) y el ingenio azucarero tiene una aportación de $7.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (12.5%) de partículas. Los suelos agrícolas ocuparon el $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10.9%) de partículas, resultados que se muestran en la figura 57. Las fuentes utilizadas para Colpos se muestran en la tabla 28. donde se observa que la calera al igual que otras fuentes como la de fabricación de vidrio no siempre contribuían en la contaminación en el mismo sitio; la Calera a diferencia de la fabricación de vidrio impacta para ambos sitios.

Fuente	Perfil de emisión
Suelo	Suelo agrícola calles pavimentadas y no pavimentadas.
Gasolina	Vehículos, avenidas de alto aforo y glorietas.
Diésel	Vehículos de carga, tráiler, central de autobuses.
Alimentos	Pollos rostizados, restaurante de carne asada.
Quemas	Quema de hoja de caña
Industrias	Perfil de emisión de ingenio, fábrica de vidrio y calera.

Tabla 28. Perfil de emisión utilizado en Colpos y El Palacio.

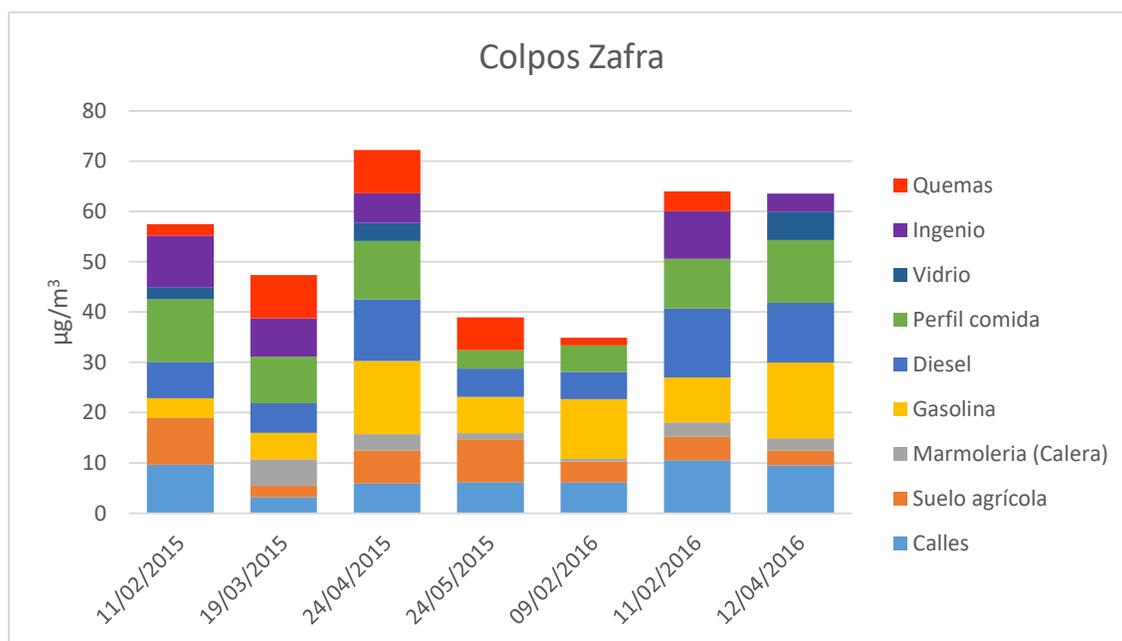


Figura 57. Contribución de fuentes en Colpos para la temporada de Zafra.

La Dirección de viento a pesar de ser predominante en dirección Sureste para la temporada de Zafra no fue así para todos los días, lo cual puede ser motivo de que las mismas fuentes no contribuyeran a la presencia de partículas todos los días; para la temporada de Sin Zafra las quemas y el ingenio no tuvieron contribución y se muestra en la figura 58.

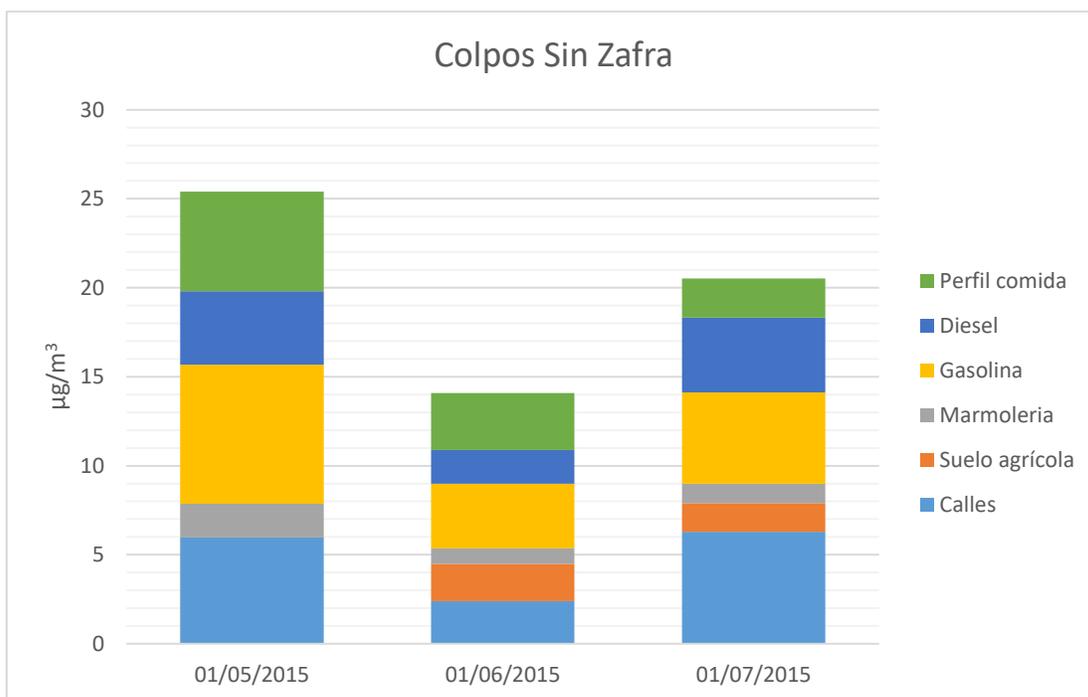


Figura 58. Contribución de fuentes en Colpos para la temporada de Sin Zafra.

Para el sitio El Palacio en la temporada de Zafra la contribución por uso de diésel y gasolina fue mayor con respecto al primer sitio (Colpos), en promedio la contribución del uso de diésel fue de $10.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (16.5%), para el uso de la gasolina se tuvo una contribución de $14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (23.8%), los alimentos aportaron $12.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (19%) mientras que el ingenio tuvo una aportación de $16.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (22.3%) y las quemas un $7.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (13.8%) lo que se resume en la figura 59.

Para ambos sitios de muestreo, la preparación de alimentos ajustan como fuentes que contribuyen en la contaminación de los 2 sitios esto se puede justificar ya que El Palacio y Colpos cuentan con gran variedad de locales y puestos de comida y la cercanía de estos a los sitios está afectando la calidad del aire.

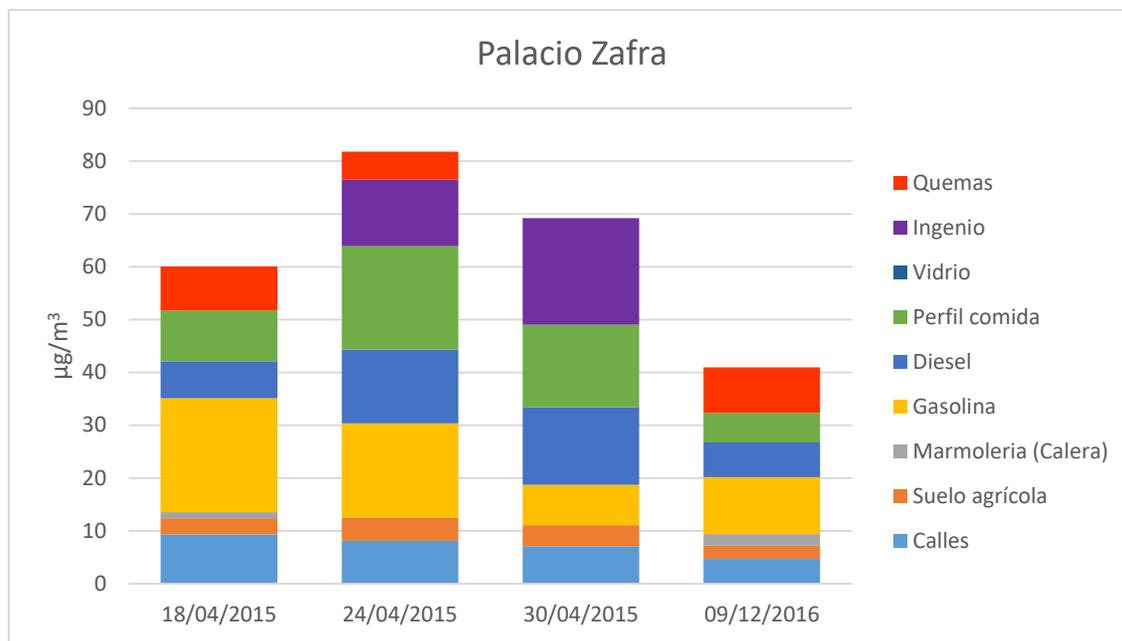


Figura 59. Contribución de fuentes en El Palacio para la temporada de Zafra.

Para la temporada de Sin Zafra predominaron los combustibles y los alimentos que son fuentes que se encuentran trabajando todo el año y se muestran en la figura 60.

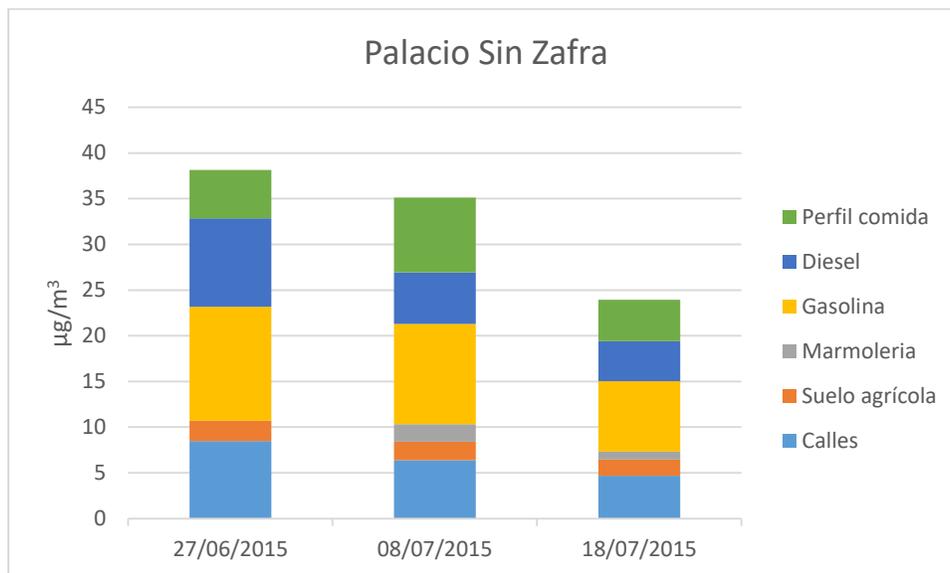


Figura 60. Contribución de fuentes en El Palacio para la temporada de Sin Zafra.

En ambos sitios, la contribución por uso de combustibles y preparación de alimentos ocupa en promedio la mayor parte de la masa de partículas en Colpos con un 50.7% y en El Palacio con 59.3%; durante la temporada de Zafra el sitio con mayor afectación por quema de caña es Colpos con un 13.8% y en El Palacio con un 10.2% del total del filtro, el ingenio tuvo un mayor impacto en El Palacio con un 22.3% y en Colpos con 12.5%.

El porcentaje promedio por tipo de fuente para una muestra de cada temporada en los dos sitios de muestreo se presenta la tabla 29.

	Colpos Zafra $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Palacio Zafra $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Colpos Sin Zafra $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Palacio Sin Zafra $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Vehículos de gasolina	20.2±8	21.8±10	25.8±3.6	31.3±2
Vehículos a diésel	16.9±3.2	17.1±3.9	13.4±3.5	16±4
Alimentos	16.1±4	24±4.9	22.7±6.1	23.3±4
Suelo agrícola	9.1±5.1	5.4±0.2	14.9±5	5.8±0.1
Calles Pavimentadas y no pavimentadas	8.2±4	9.9±2	17±6.8	18.2±2
Marmolería	4.4±3.2	1.8±0.1	6.2±1	5.4±1.2
Vidrio	5±0.3	0	0	0
Ingenio	8.2±5	15.4±9	0	0
Quema de caña	11.9±6	6.5±7	0	0

Tabla 29. Contribución por tipo de fuente en porcentaje.

El modelo CMB no requiere de una gran cantidad de datos ambientales, pues puede determinar la contribución por día, aunque está limitado a la disponibilidad de perfiles de emisión para hacer el cálculo por lo que, si existen fuentes desconocidas o no consideradas al momento de hacer el cálculo, no se considerará su contribución, pero ayuda a reconocer las fuentes que tienen mayor contribución con una cantidad mínima de datos ambientales. Cuando una fuente no se ajusta para el mismo sitio en diferente día, puede deberse a variables como dirección y velocidad de viento, precipitación y la fecha de muestreo debido a la productividad relacionada a las fuentes.

9 CONCLUSIONES

- La concentración de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ a la que se encuentra expuesta la población de Córdoba, Veracruz y sus alrededores aumenta en época de Zafra en los dos sitios de muestreo.
- En el sitio Colpos durante la temporada de Zafra se encontraron concentraciones máximas en $PM_{2.5}$ de $90.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $147.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} mientras que el sitio del Palacio tuvo una concentración máxima para $PM_{2.5}$ de $102.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- En ambos sitios se rebasa el límite promedio a 24 horas que estipula la **NOM-025-SSA1-2014** durante la temporada de zafra. En Colpos se rebasó en $PM_{2.5}$ un 43.75% de los días muestreados siendo abril el mes con mayor afectación y para PM_{10} se rebasó un 32.25%. En El Palacio se rebasó la norma en un 67.85% de los días muestreados en $PM_{2.5}$. En temporada de Sin Zafra ningún sitio rebasó el límite de $PM_{2.5}$ y PM_{10} .
- Se presenta un aumento en la concentración de aerosoles de carbono negro durante la época de Zafra. El sitio urbano El Palacio y el rural Colpos no presentan diferencia significativa. En Colpos el aumento de los aerosoles carbonáceas durante la temporada de Zafra para $PM_{2.5}$ fue de 73.6% y para PM_{10} de 42.8%. El sitio El Palacio tuvo un aumento de 61.9%.
- La comparación de los métodos ópticos y termo-ópticos para cuantificar la concentración de aerosoles demostró tener diferencia significativa por lo que no son equivalentes.
- La concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos tiene aumento significativo durante la temporada de Zafra. Para el sitio Colpos fue mayor en comparación con El Palacio, obteniendo aumentos para concentraciones promedio en $PM_{2.5}$ de 494% y en PM_{10} de 496%; mientras que El Palacio en $PM_{2.5}$ tuvo un aumento de 193.62% siendo los hidrocarburos más pesados los que se presentaron en mayor concentración como Benzo [a] pireno que por la IARC se considera cancerígeno para los seres humanos.
- Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos aumentan en temporada de Zafra, lo que sugiere que las fuentes de emisión son diferentes, estos cambios son marcados durante la quema de caña y su posterior proceso para la producción de azúcar.
- Los aerosoles inorgánicos secundarios como SO_4^{2-} , NO_3^- y NH_4^+ aumentan durante la Zafra para partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ al igual que los elementos oxidados como SiO_2 , Al_2O_3 ,

CaO, Fe₂O₃, K₂O, MgO, Na₂O, P₂O₅, TiO₂, siendo el óxido de silicio el elemento que más presencia obtuvo.

- Con el modelo CMB se determinaron las contribuciones de las distintas fuentes de partícula. Durante la temporada de Zafra en Colpos las fuentes de mayor aportación fueron los vehículos a gasolina y diésel con un 34.3%, y los alimentos con un 16.7%, el ingenio tiene una aportación de 12.5% mientras que la quema de caña aporta un 10.2%.
- El Palacio tuvo un comportamiento similar en las fuentes de mayor contribución, ocupando el primer lugar las fuentes vehiculares a gasolina y diésel con un 40.3%, mientras que los alimentos contribuyeron con 19%. En este sitio el ingenio tuvo mayor aportación con un 22.3% y las quemas de caña un 13.8% de partículas.
- Aunque el modelo no contempló las variables meteorológicas, es un factor muy importante a considerar ya que se vio que no todas las fuentes contribuían los mismos días para el mismo sitio debido a las diferencias en la dirección y velocidad del viento y a la precipitación. El uso de un modelo de trayectoria ayudaría para conocer la dispersión de las emisiones.
- Es evidente que la industria de la caña tiene un fuerte impacto al exponer a la población a un aumento considerable de partículas, carbono negro y HAP's durante la temporada de Zafra que se realiza año tras año.

10 RECOMENDACIONES

El campo agrícola presenta muchos problemas cuando se trata de cosechar la caña, el proceso de quemar antes de la cosecha tiene la finalidad de facilitar el corte y ahuyentar las alimañas, pero genera efectos negativos para la salud, este proceso de quema ayuda económicamente y es muy práctico para los productores de caña pero afecta a la población que se encuentra alrededor.

La importancia radica en la cantidad de contaminantes emitidos con estas prácticas y Veracruz cuenta con un gran número de hectáreas que son quemadas para su posterior cosecha y que ponen en riesgo durante 4 meses del año a la población aledaña provocando enfermedades respiratorias y ocasionando un fuerte impacto en el ambiente, la Zafra se practica desde hace años. Una encuesta realizada a los agricultores y cortadores demuestra que están en favor de cambiar las prácticas de quema pero no sienten el apoyo de ninguna institución lo que para ellos significa un gasto que nadie les reembolsara al pagar más por realizar un corte en verde, la falta de maquinaria, la dificultad que tiene cada parcela para introducir cosechadoras mecánicas.

- ✓ Realizar muestreos que sean de larga duración y puedan ser representativos.
- ✓ Construir bases para la construcción de una Norma que ayude a mitigar los daños ocasionados por la quema de caña de azúcar.
- ✓ Apoyar o incentivar a los campesinos y agricultores para cambiar estas prácticas agrícolas.
- ✓ Cuidar los aspectos sociales y económicos para la regulación de la quema siempre cuidando y favoreciendo el beneficio de los campesinos.

11 REFERENCIAS

- Agudelo-Castaneda, D. M., & Teixeira, E. C. (2014). Seasonal changes, identification and source apportionment of PAH in PM 10. *Atmospheric Environment*, 96, 186-200.
- Albert A. Lilia, Flores Rodriguez Julio. (2004). *Toxicología ambiental*. Ciudad Juárez Chih.: Lilia A. Albert.
- Aldunate P., Paz O. y Halvorsen K. (2006). *Los efectos de la contaminación atmosférica por PM10 sobre la ciudad de La Paz-Bolivia (3650 m.s.n.m.). acta nova; Vol3, N°2, Junio2006.*
- Álvarez, E. D. (2007). *La caña de azúcar:¿ una amarga externalidad? Not so sweet sugar cane. Desarrollo y Sociedad, 118(59), 117-164.*
- Andrade, S. J., Cristale, J., Silva, F. S., Zocolo, G. J., & Marchi, M. R. (2010). Contribution of sugar-cane harvesting season to atmospheric contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Araraquara city, Southeast Brazil. *Atmospheric Environment*, 44(24), 2913-2919.
- Avivert, 2012, Fases fenológicas de la caña de azúcar EEAOC Recuperado de: <http://avibert.blogspot.com/2012/04/fases-fenologicas-cana-de-azucar-eeaoc.html>.
- Barajas Garcia Enrique Raul. (2014). *Infraestructura para la producción y la comercialización en el desarrollo regional*. 11/Mayo/2016, de Unión Nacional de Productores de Caña de Azúcar Sitio web: <file:///C:/Users/Fernando/Downloads/FORO%20CA%C3%91A%20PROD%20Y%20COMERCIAL.pdf>.
- Cabrera, J. A., & Zuaznabar, R. (2010). Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del Carbono. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 00-00.
- Cançado, J. E., Saldiva, P. H., Pereira, L. A., Lara, L. B., Artaxo, P., Martinelli, L. A., ... & Braga, A. L. (2006). The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. *Environmental health perspectives*, 725-729.
- Cárdenas, D. M. R., Vela, H. S., & Quinche, J. E. P. (2014). Estimación de hidrocarburos aromáticos policíclicos y metales pesados asociados con la quema de caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca, Colombia. *Épsilon*, (21), 57-82.
- Cárdenas C. 2003, Estudio exploratorio de la exposición de trabajadores ambulantes a las emisiones vehiculares en inmediaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Carrera Luque, J. P., & Loyola Echeverría, E. (2010). Impacto ambiental generado por la quema de la caña de azúcar en Laredo-Trujillo.
- Chen KS, Lin CF, Chou YM. 2001. Determination of source contributions to ambient PM2.5 in Kaosiung, Taiwan, using a receptor model. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 51: 489-498.

- Chow, J. C., Watson, J. G., Edgerton, S. A., & Vega, E. (2002). Chemical composition of PM 2.5 and PM 10 in Mexico City during winter 1997. *Science of the Total Environment*, 287(3), 177-201.
- Ciudad de México, “Índice de calidad del aire” IMECA, (2011). Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnml=&dc=%27Zw==>.
- Cock, Serna L., & Rodríguez de Stouvenel, A. (2007). Producción económica de ácido láctico utilizando residuos de cosecha y jugos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Agricultura técnica*, 67(1), 29-38.
- Colón, A. T. (2014). Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (16), 86-88.
- Cruz, A. C., & Moleón, M. D. C. J. (2003). *Química Ambiental. Principios básicos de contaminación ambiental*, 61.
- Cuatecontzi, D. H., & Gasca, J. (2004). Los gases regulados por la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. *Cambio climático: una visión desde México*, 87.
- Curtis L., MS y CIH (2002). “*Biomass Burning*”. *Human Ecologist*. Vol. Fall 2002.
- Duarte, C. (2006). *Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. CSIC.
- EPA US. 2016. Receptor Models. <https://www3.epa.gov/scram001/receptorindex.htm>.
- FAOSTAT, It. 2014. Datos Agrícolas: Cultivos primarios caña de azúcar (en línea). Roma, It. Consultado 19 Mayo. 2014. Disponible en <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>.
- Federación, D. O. (2005). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a material particulado.
- Fernández E. A. J; Ternero R. M; Barragán de la Rosa F. J; Jiménez S. J. C; (2001). A chemicalspeciation of trace metalsfor fine urbanparticles, *AtmosphericEnvironment*, 36; 773 – 780.
- Flores Rodríguez Julio, 2013, “*Evaluación de la movilidad de metales tóxicos en polvos recolectados en avenidas de alto aforo vehicular del eje 5 de la Ciudad de México*”, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Frómeta, A. N., Porras, O. A., Reyes, M. R., Alcántara, G. G., & Rentería, 2006 C. EL PARTICULADO ATMOSFÉRICO Y SU RELACIÓN CON LA QUEMA DE BIOMASA.
- Galviz Mantilla Daniel E. 2010, “*Los sistemas de corte mecanizado de caña de azúcar. Equipos de cosecha*”, *Revista Técnicaña* N°26, pp 21-24.
- Gavidia, T., Pronczuk, J., & Sly, P. D. (2009). Impactos ambientales sobre la salud respiratoria de los niños: Carga global de las enfermedades respiratorias pediátricas ligada al ambiente. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 25(2), 99-108.

- Gutiérrez Montes Adriana Aglae, (2007) “APLICACIÓN DE MODELOS RECEPTOR PARA DETERMINAR LAS PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y PM2.5 EN MEXICALI, B.C.”.
- Hernández Yolanda de L., 1995 “Efecto de la quema de la caña de azúcar sobre la incidencia de enfermedades respiratorias en dos localidades del estado Aragua, Venezuela.” *Caña de Azúcar*, Vol. 13(02), pp 85-97.
- IARC- Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 92. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. International Agency for Research on Cancer 2010. Lyon (France).
- INECC-Instituto Nacional de Ecología y cambio climático (2011). “Contaminantes a considerar en un inventario de emisiones” Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/457/contaminantes.pdf> pp 75-92.
- INECC-Instituto Nacional de Ecología y cambio climático (2001). “¿Qué son, cómo son y cómo se originan las partículas” Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/695/queson.pdf>.
- INEGI, 2015 Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/información/Ver/Poblacion/default.aspx?tema=ME&e=30>
- INIFAP, 2015 Recuperado de <http://clima.inifap.gob.mx/Inmysr/Historicos/Datos?Estado=29&Estacion=36323&Anio=2015&Mes=1>
- Lara, L. L., Artaxo, P., Martinelli, L. A., Camargo, P. B., Victoria, R. L., & Ferraz, E. S. B. (2005). Properties of aerosols from sugar-cane burning emissions in Southeastern Brazil. *Atmospheric environment*, 39(26), 4627-4637.
- Larrahondo, J. E. (1995). Calidad de la caña de azúcar. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. Eds. Cassalet, C, 337-354.
- Mastandrea, C., Chichizola, C., Ludueña, B., Sánchez, H., Álvarez, H., & Gutiérrez, A. (2005). Hidrocarburos aromáticos policíclicos. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*, 39, 27-36.
- Morales García S.S., Rodríguez Espinosa P.F., Jonathan M.P., Navarrete López M., Herrera García M.A., Muñoz Sevilla N.P. (2014). Characterization of As and trace metals embedded in PM10 particles in Puebla City, México. *Environ Monit Assess* 186:55-67.
- Mugica V., Sandra Ramos-Guizar, Naxieli Santiago-de la Rosa, Miguel Torres-Rodríguez, and Luis Noreña-Franco. Black Carbon and Particulate Organic Toxics Emitted by Sugarcane Burning in Veracruz, México. 2016. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 7, No. 4: 290-294. DOI: 10.7763/IJESD.2016.V7.761.
- Mugica-Alvarez Violeta, Santiago-de la Rosa Naxieli, Figueroa-Lara Jesús, Flores Rodríguez Julio, Magaña-Reyes Miguel. 2015. Emissions of PAHs derived from burning and processing of sugarcane in Chiapas and Morelos México. *The Science of the Total Environment*. 474-482. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.04.089.

- Mugica V., Valles R., Aguilar, J., J. Figueroa and F. Mugica (2011). PM_{2.5} Source Apportionment Applying Material Balance and Receptor Models in the MAMC, Monitoring, Control and Effects of Air Pollution, Andrzej G. Chmielewski (Ed.), ISBN: 8:103-118. 978-953-307-526-6, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/pm2-5-source-apportionment-applying-material-balance-and-receptor-models-in-the-mamc>.
- Mugica, V., Hernandez, S., Carreón, B., y Torres, M., (2004). *Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos en la Atmósfera de la Ciudad de México*. Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS 2004), San Juan Puerto Rico.
- Múgica V., Maubert Marisela, Torres Miguel, Muñoz José, Rico Enrique. (2002). Temporal and spatial variations of metal content in TSP and PM₁₀ in Mexico City during 1996-1998. *Aerosol Science* 33, 91 – 102.
- NOM-025-SSA1-1993, Norma Oficial Mexicana. *Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al material particulado*. Secretaria de salud.
- NOM-025-SSA1-2014, Norma Oficial Mexicana. *Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al material particulado*. Secretaria de salud.
- Nisbet D., y LaGoy P. 1992, *Toxic equivalence factors (TEF's) for Polycyclic aromatic Hydrocarbons (PAH's)*. Regul. Toxicol Pharmacol. 16. 290-300.
- OLIVEIRA, O., Urquiaga, S. S., & Boddey, R. M. (1995). La quema de la caña: efectos a largo plazo. *Int. Sugar Jnl.* 97. 1160.
- OMS (Organización Mundial de la salud) (2011). *Calidad del Aire ambiente y salud* recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>.
- Ostro, B. (1996). Methodology for estimating air pollution health effects. In *Methodology for estimating air pollution health effects*. OMS.
- Paraquat, Cosecha de caña de azúcar con ayuda de paraquat. Centro de información del paraquat recuperado de : <http://paraquat.com/spanish/news-and-features/archives/cosecha-de-ca%C3%B1a-de-az%C3%BAcar-con-la-ayuda-de-paraquat>
- Parra, A. Q., Vargas, M. J. Q., & Martínez, J. A. H. (2010). Caracterización fisicoquímica del material particulado-fracción respirable PM_{2.5} en Pamplona-Norte de Santander-Colombia. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 8(1), 53-66.
- Perusquia, A. L., Avitia, A. Y. C., Rios, M. D., Pérez, J. T., & Marguez, J. P. F. (2016). Material particulado y metales pesados en aire en ciudades mexicanas. *CULCyT*, (56).
- Pino, P.; Walter, T.; Oyarzun, M.; Villegas, R., and Romieu, I. (2004). "Fine particulate matter and wheezing illnesses in the first year of life", *Epidemiology*, 15(6):702-8.
- Porras, O. A., Nuñez, I. C., & Herrero, M. L. (2016). Valoración de metales pesados en PST en biomasa de caña. *Revista Naturaleza y Tecnología*, 2(1).

- Prada Muñoz, G. D., & Robayo Garzón, M. A. (2012). Evaluación del incremento en carbono orgánico (OC) y carbono elemental (EC) en el material particulado generado por quema de biomasa en el Valle Geográfico del Rio Cauca (Bachelor's thesis).
- Ramanathan, V., Carmichael, G.R., 2008. Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience Letters* 221–227.
- Ramos G. Sandra y Mugica Álvarez Violeta. "Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos en partículas atmosféricas generadas durante la quema de la caña de azúcar en el estado de Veracruz" (2014), Estado de Veracruz, México, Tesis de Maestría UAM-AZC, 71-81.
- Reyes Zárate Elizabeth, Elizabeth Vega Range, Gabriela Sánchez Reyna, Hugo Ruíz Flores y Violeta Mugica Alvarez (1997) "DETERMINACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN DE PM2.5 A LA ATMÓSFERA DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO".
- Reyes, M., Arroyo, O., & Navarro, A. (2004). Estudio de la contribución de partículas suspendidas por la quema de caña en la calidad del aire. *Memorias del 2do Foro de Transferencia de Tecnología en el Sector Agropecuario en el Estado de Puebla, Izúcar de Matamoros, Puebla, México, 27-29.*
- Rojas Reyes, R. P., & Paez Escobedo, M. J. (2015). DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN AGUA DE RIEGO IMPACTADAS POR LA MINERÍA ARTESANAL EN EL CERRO EL TORO, SHIRACMACA-HUAMACHUCO, LA LIBERTAD 2012-2013.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, pesca y Alimentación), (2014), *Caña de Azúcar. Reportes de cierre.* Recuperado de <http://www.campomexicano.gob.mx/azcf-reportes-reportes.php?tipo=CIERRE>.
- Ravindra, K., Bencs, L., Wauters, E., De Hoog, J., Deutsch, F., Roekens, E., ... & Van Grieken, R. (2006). Seasonal and site-specific variation in vapour and aerosol phase PAHs over Flanders (Belgium) and their relation with anthropogenic activities. *Atmospheric Environment*, 40(4), 771-785.
- Santiago de la Rosa Naxieli y Mugica Alvares Violeta, 2014, "CARBONO NEGRO EN AEROSOL PROVENIENTES DE LA QUEMA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LOS ESTADOS DE CHIAPAS Y VERACRUZ, Y SUS IMPLICACIONES EN LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y EL EFECTO INVERNADERO".
- Segura, L. M. S., & Arriaga, J. A. L. (2003). *Principios básicos de contaminación ambiental.* UAEM.
- SEMARNAT, 2005. Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA), Consulta Temática RECUPERADO DE http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AIRE01_04&IBI_C_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce.
- Sociedad, 2012 "El 95% de los europeos en ciudades respira partículas muy nocivas" Nota tomada del diario sociedad, Recuperado http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/09/24/actualidad/1348514270_964033.html

Suárez, (A., & Augusto, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Luna Azul*, (34), 195-213.

Sugar cane crops, Manejo agrícola, Manejo de la Cosecha caña 2006 Recuperado de http://www.sugarcane crops.com/s/agronomic_practices/harvesting_management/.

Vallesa Sanches Raúl Antonio y Mugica Álvarez Violeta, 2005 “DETERMINACIÓN DE FUENTES DE PM2.5 EN LA ZMCM UTILIZANDO MODELOS DE RECEPTOR” Ciudad de México.

Vives, I., Grimalt, J. O., & Guitart, R. (2001). Los hidrocarburos aromáticos policíclicos y la salud humana. *Apuntes de Ciencia y Tecnología*, 3(2), 45-51.

Watson, John. Protocol for applying and validating the CMB model for PM2.5 and VOC. US EPA, EPA451/R-04-001. December 2004.

ANEXOS:

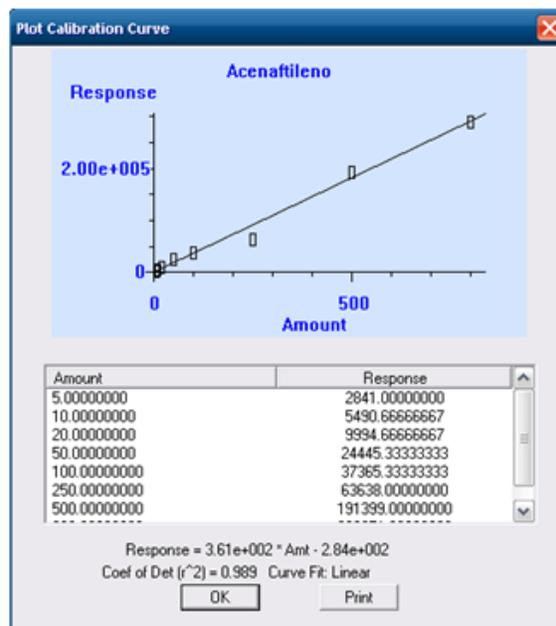
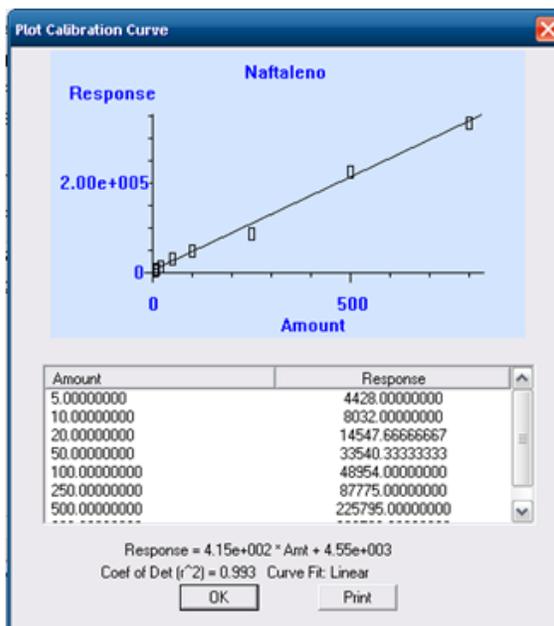
Anexo 1: Puntos para curva de calibración:

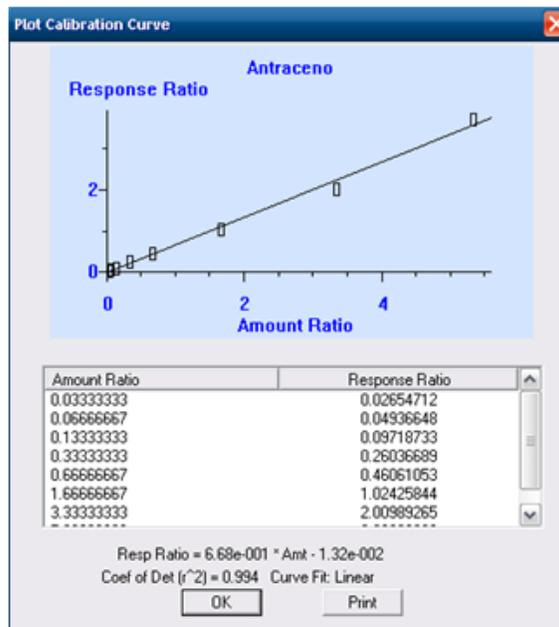
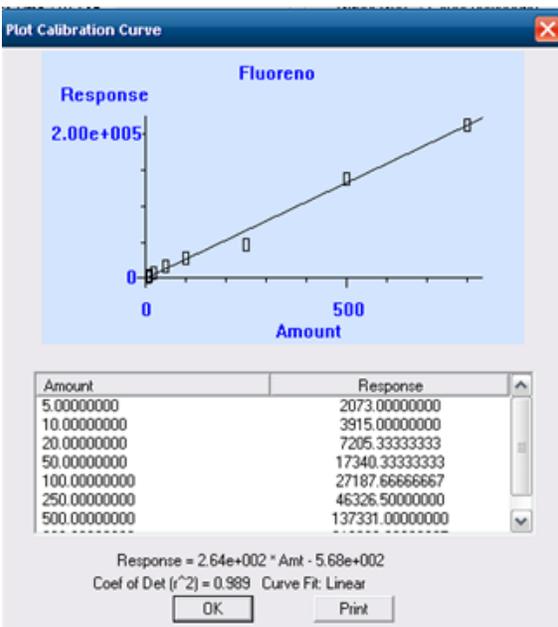
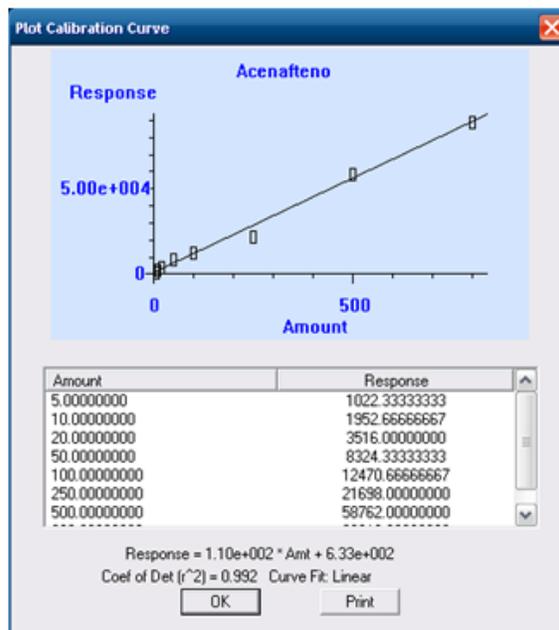
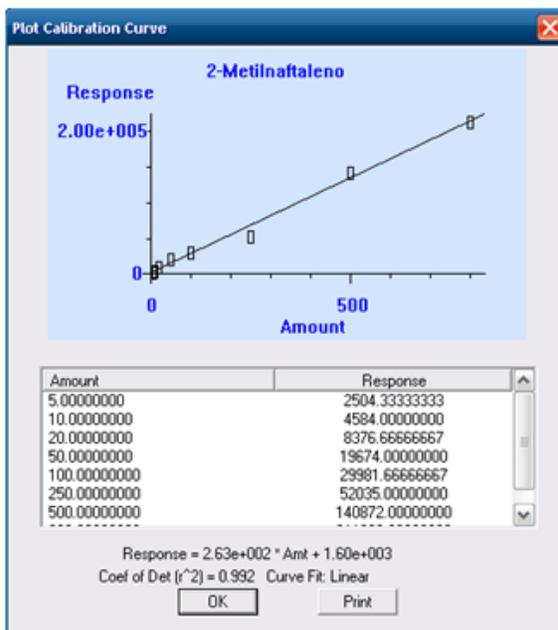
Inyección de la curva de calibración para los 17 HAP's

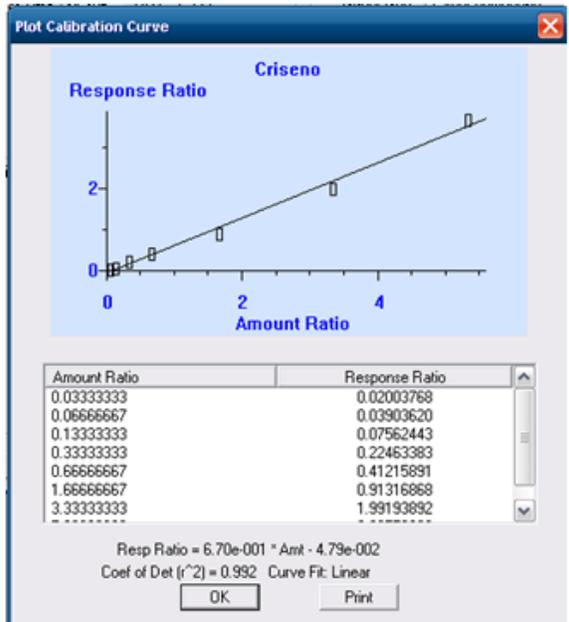
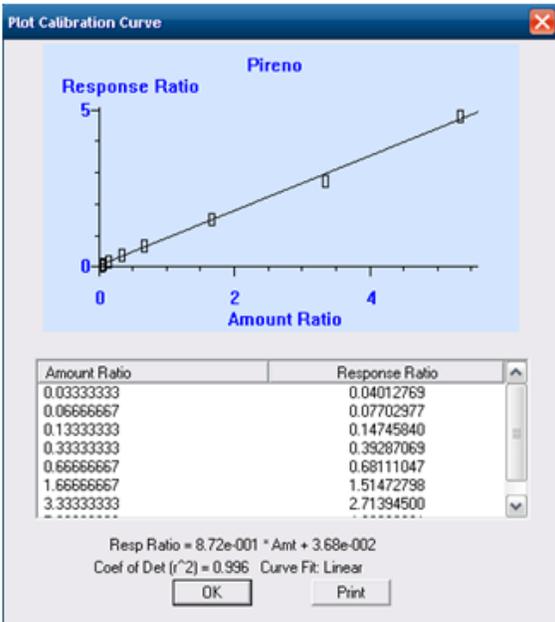
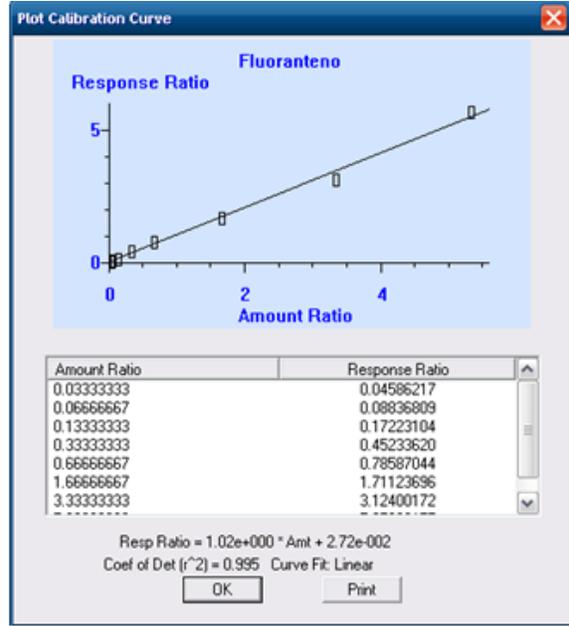
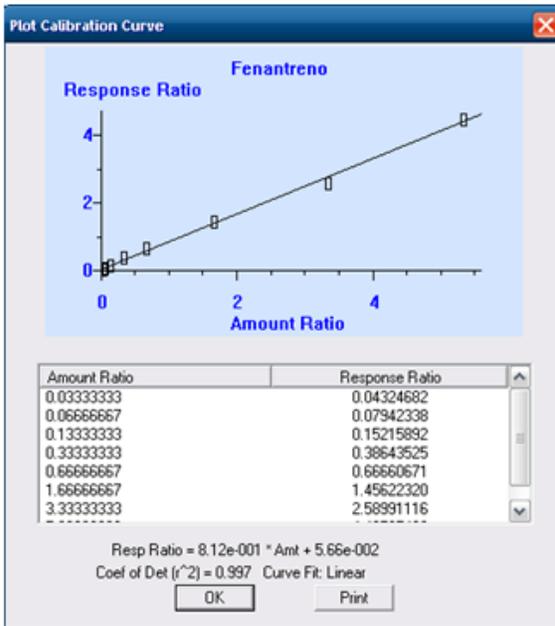
Los resultados preliminares mostraron las concentraciones a las cuales se preparó la curva de calibración. Se inyectó la curva de calibración por triplicado en el CG-EM, en las siguientes figuras se presentan las gráficas para cada HAP con sus respuestas para los 7 niveles.

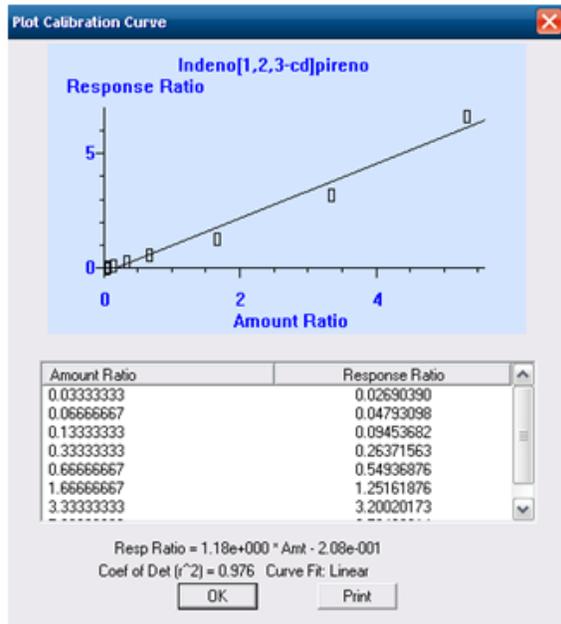
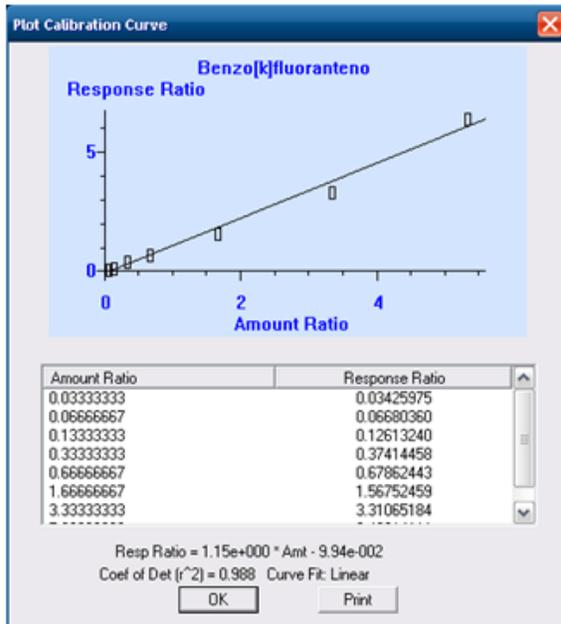
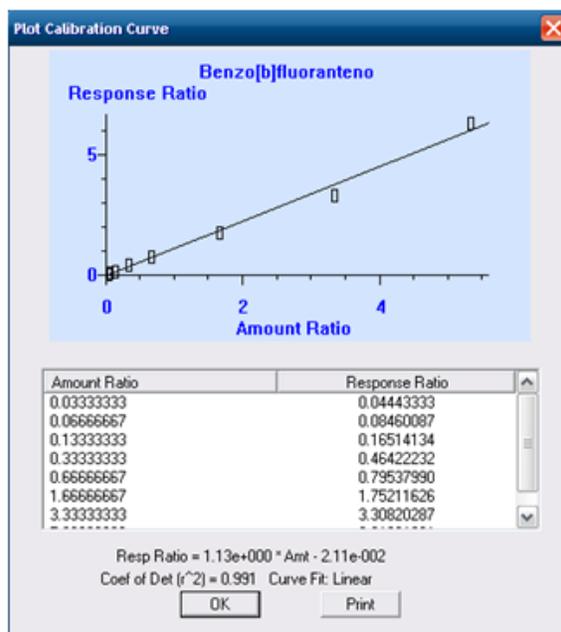
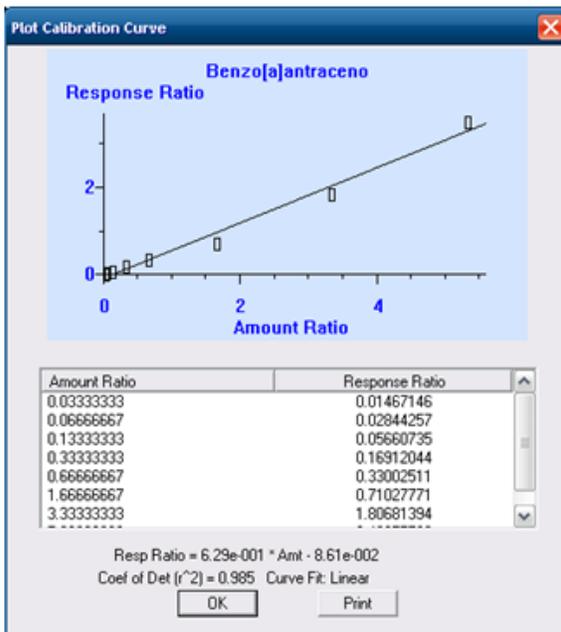
La concentración de cada punto quedó de la siguiente manera

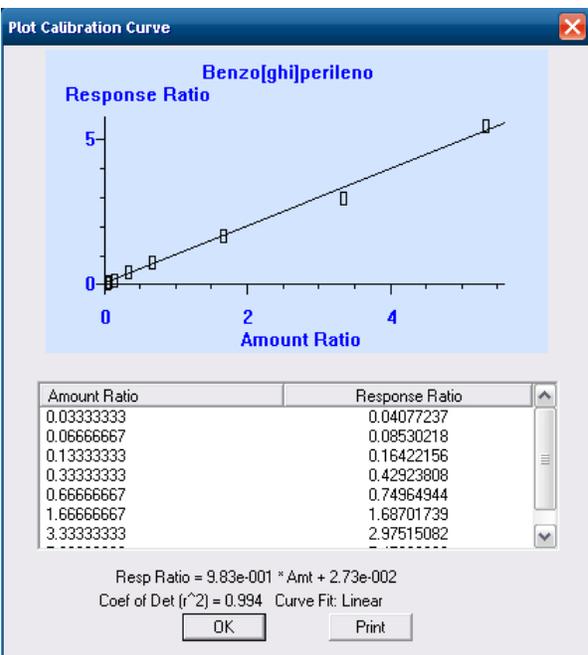
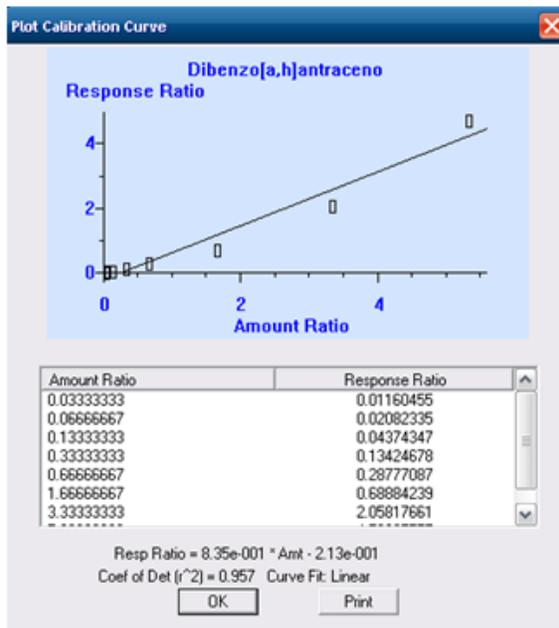
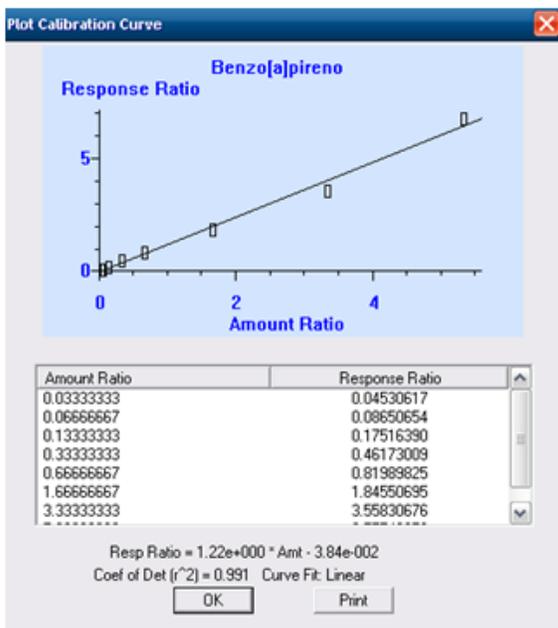
17 HAP's	Concentración ng/ μ l
Punto1	800
Punto 2	500
Punto 3	250
Punto 4	100
Punto 5	50
Punto 6	20
Punto 7	10











Porcentajes de recobro realizados para los 17 HAP's

		HAPCC206.D	HAPCC206.D
		AR1	AR1
#	Nombre	%REC	%REC
1)	Naftaleno	85	82
2)	2-Metilnaftaleno	80	80
3)	Acenaftileno	83	80
4)	Acenafteno	86	88
5)	Fluoreno	84	86
6)	Fenantreno	99	82
7)	Antraceno	103	98
8)	Fluoranteno	88	77
9)	Pireno	92	72
10)	Benzo[a]antraceno	118	118
11)	Criseno	105	102
12)	Benzo[b]fluoranteno	78	67
13)	Benzo[k]fluoranteno	96	94
14)	Benzo[a]pireno	78	96
15)	Indeno[1,2,3-cd]pireno	84	109
16)	Dibenzo[a,h]antraceno	111	107
17)	Benzo[ghi]perileno	81	85
18)	Min	78	67
19)	Max	118	118

Anexo 2: Comparación de prueba Mann-Whitney para temporada de Zafra en partículas PM_{2.5} y PM₁₀ Colpos y El Palacio.

Tabla 2.1

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
Partículas PM_{2.5} Colpos Zafra y Sin Zafra	Ho: [Partículas PM _{2.5}]CON ZAFRA \leq [Partículas PM _{2.5}]SIN ZAFRA Ha: [Partículas PM _{2.5}]CON ZAFRA $>$ [Partículas PM _{2.5}]SIN ZAFRA	0.95%	0.000867	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Tabla 2.2

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
Partículas PM ₁₀ Colpos Zafra y Sin Zafra	<p>Ho: [Partículas PM₁₀]CON ZAFRA \leq [Partículas PM₁₀]SIN ZAFRA</p> <p>Ha: [Partículas PM₁₀]CON ZAFRA $>$ [Partículas PM₁₀]SIN ZAFRA</p>	0.95%	0.024	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Tabla 2.3

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
Partículas PM _{2.5} Palacio Zafra y Sin Zafra	<p>Ho: [Partículas PM_{2.5}]CON ZAFRA \leq [Partículas PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p> <p>Ha: [Partículas PM_{2.5}]CON ZAFRA $>$ [Partículas PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p>	0.95%	0.00010	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Anexo 3: Comparación de prueba Mann-Whitney para temporada de Zafra en Carbono Orgánico PM_{2.5} y PM₁₀ Colpos.

Tabla 3.1

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
Carbono Orgánico PM_{2.5} Colpos Zafra y Sin Zafra	<p>Ho: [Carbono Orgánico PM_{2.5}]CON ZAFRA \leq [Carbono Orgánico PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p> <p>Ha: [Carbono Orgánico PM_{2.5}]CON ZAFRA $>$ [Carbono Orgánico PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p>	0.95%	0.0011	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Tabla 3.2

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
Carbono Orgánico PM₁₀ Colpos Zafra y Sin Zafra	<p>Ho: [Carbono Orgánico PM₁₀]CON ZAFRA \leq [Carbono Orgánico PM₁₀]SIN ZAFRA</p> <p>Ha: [Carbono Orgánico PM₁₀]CON ZAFRA $>$ [Carbono Orgánico PM₁₀]SIN ZAFRA</p>	0.95%	0.0002	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Tabla 3.3

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
Carbon Orgánico PM_{2.5} Palacio Zafra y Sin Zafra	Ho: [Carbono Orgánico PM _{2.5}]CON ZAFRA ≤ [Carbono Orgánico PM _{2.5}]SIN ZAFRA Ha: [Carbono Orgánico PM _{2.5}]CON ZAFRA > [Carbono Orgánico PM _{2.5}]SIN ZAFRA	0.95%	0.005	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Anexo 4: Comparación de prueba Mann-Whitney para temporada de Zafra en Carbono Elemental PM_{2.5} y PM₁₀ Colpos.

Tabla 4.1

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
Carbono Elemental PM_{2.5} Colpos Zafra y Sin Zafra	<p>Ho: [Carbono Elemental PM_{2.5}]CON ZAFRA \leq [Carbono Elemental PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p> <p>Ha: [Carbono Elemental PM_{2.5}]CON ZAFRA $>$ [Carbono Elemental PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p>	0.95%	0.016	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Tabla 4.2

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
Carbono Elemental PM₁₀ Colpos Zafra y Sin Zafra	<p>Ho: [Carbono Elemental PM₁₀]CON ZAFRA \leq [Carbono Elemental PM₁₀]SIN ZAFRA</p> <p>Ha: [Carbono Elemental PM₁₀]CON ZAFRA $>$ [Carbono Elemental PM₁₀]SIN ZAFRA</p>	0.95%	0.0003	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Tabla 4.3

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
Carbon Elemental PM_{2.5} Palacio Zafra y Sin Zafra	<p>Ho: [Carbono Elemental PM_{2.5}]CON ZAFRA \leq [Carbono Elemental PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p> <p>Ha: [Carbono Elemental PM_{2.5}]CON ZAFRA $>$ [Carbono Elemental PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p>	0.95%	0.02	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Anexo 5: Comparación de prueba Mann-Whitney para temporada de Zafra en HAP's PM_{2.5} y PM₁₀ Colpos.

Tabla 5.1

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
HAP's PM_{2.5} Colpos Zafra y Sin Zafra	<p>Ho: [HAP's PM_{2.5}]CON ZAFRA \leq [HAP's PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p> <p>Ha: [HAP's PM_{2.5}]CON ZAFRA $>$ [HAP's PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p>	0.95%	0.03	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Tabla 5.2

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
HAP's PM ₁₀ Colpos Zafra y Sin Zafra	<p>Ho: [HAP's PM₁₀]CON ZAFRA \leq [HAP's PM₁₀]SIN ZAFRA</p> <p>Ha: [HAP's PM₁₀]CON ZAFRA $>$ [HAP's PM₁₀]SIN ZAFRA</p>	0.95%	0.03	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Tabla 5.3

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
HAP's PM _{2.5} Palacio Zafra y Sin Zafra	<p>Ho: [HAP's PM_{2.5}]CON ZAFRA \leq [HAP's PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p> <p>Ha: [HAP's PM_{2.5}]CON ZAFRA $>$ [HAP's PM_{2.5}]SIN ZAFRA</p>	0.95%	0.005	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Anexo 6 Comparación de prueba Mann-Whitney para Método Óptico SootScan y Sunset para cuantificación de CN y CE.

Grupo a comparar	Hipótesis	Intervalo de Confianza (1- α)	Probabilidad (p)	Decisión
HAP's PM _{2.5} Palacio Zafra y Sin Zafra	Ho: [CN ZAFRA]Sootscan=[CE ZAFRA]Sunset Ha: [CN ZAFRA]Sootscan \neq [CE ZAFRA]Sunset	0.95%	0.03	Se rechaza Ho

Criterio de aceptación; Sí $P \leq 0.5$ se rechaza Ho, por lo tanto, se acepta Ha.

Anexo 7 Tabla con base de datos para fuentes en Modelo CMB 8.2

Perfil de emisión	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	C org.	C elem.	Al	Si	S	K
Calles pavimentadas	0.0000	0.0023	0.0016	0.0190	0.0090	0.0526	0.1731	0.0049	0.0101
Calles no pavimentadas	0.0055	0.0859	0.0021	0.2317	0.0077	0.0420	0.1462	0.0105	0.0098
Suelo agrícola	0.0014	0.0083	0.0020	0.1010	0.0095	0.0687	0.1495	0.0017	0.0040
Cenizas	0.0022	0.0098	0.0004	0.0242	0.0006	0.0233	0.0992	0.0059	0.0087
Relleno sanitario	0.0000	0.0022	0.0013	0.0038	0.0000	0.0677	0.1897	0.0016	0.0083
Asfalto	0.0010	0.0066	0.0016	0.0432	0.0572	0.0595	0.1466	0.0023	0.0072
Calera	0.0013	0.0300	0.0005	0.1993	0.0298	0.0048	0.0377	0.0055	0.0025
Grava	0.0010	0.0029	0.0000	0.1443	0.0000	0.0067	0.0281	0.0006	0.0025
Tezontle	0.0030	0.0067	0.0012	0.0822	0.0000	0.0436	0.1709	0.0011	0.0099
Tortillerías	0.0579	0.0886	0.0517	0.7130	0.0533	0.0020	0.0060	0.0221	0.0023
Restaurante San Antonio	0.0109	0.0197	0.0057	0.8959	0.0551	0.0006	0.0009	0.0062	0.0051
Ingenio	0.0020	0.0024	0.0009	0.9850	0.0080	0.0002	0.0005	0.0014	0.0002
Quemas	0.0063	0.0085	0.0051	0.9699	0.0070	0.0002	0.0008	0.0025	0.0002

Resultados del modelo CMB 8.2 para el sitio Colpos en día 19 de Marzo del 2015.

FITTING STATISTICS:

R SQUARE	0.93	% MASS	102.6
CHI SQUARE	6.45	DEGREES FREEDOM	4

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES:

SOURCE EST CODE	NAME	SCE(µg/m³)	Std Err	Tstat
YES ZM02F	UPRF	3.58641	3.09019	1.16058
NO ZM03F	AGSF	1.13125	20.05904	0.05640
YES ZM24F	IYN	11.14226	1.52639	7.29975
YES ZM55F	ALIF-	19.38415	3.66179	5.29363
YES ZM79F	Quemas	3.67857	1.39688	2.63342
YES ZM84F	Ingenio	6.55093	2.01344	3.25361

45.47358

MEASURED CONCENTRATION FOR SIZE: FINE
44.3+- 4.1

Eligible Space Collinearity Display

ELIGIBLE SPACE DIM. = 5 FOR MAX. UNC. = 8.86000 (20.% OF TOTAL MEAS. MASS)

1 / Singular Value

0.65646	1.08003	1.41433	2.26150	3.51949	20.31155
---------	---------	---------	---------	---------	----------

NUMBER ESTIMABLE SOURCES = 5 FOR MIN. PROJ. = 0.95

| PROJ. SOURCE |
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

SPECIES CONCENTRATIONS:

SPECIES	FIT	MEASURED	CALCULATED	CALCULATED		RESIDUAL
				MEASURED	UNCERTAINTY	
MSGC	MSGU	44.3000+-	4.13000	45.47358+-	-15.63065	1.03+- 0.37 0.1
CLIC	CLIU	* 0.2500+-	0.03000	0.29166+-	0.12796	1.17+- 0.53 0.3
N3IC	N3IU	* 1.1700+-	0.12000	1.26236+-	0.14302	1.08+- 0.16 0.5
S4IC	S4IU	* 4.9800+-	0.50000	2.22182+-	0.31633	0.45+- 0.08 -4.7
N4CC	N4CU	* 1.3600+-	0.14000	1.43027+-	0.11340	1.05+- 0.14 0.4
NAAC	NAAU	* 0.1200+-	0.01000	0.12608+-	0.00849	1.05+- 0.11 0.5
KPAC	KPAU	* 0.4300+-	0.04000	0.52408+-	0.15953	1.22+- 0.39 0.6
OCTC	OCTU	* 29.2400+-	2.92000	29.04472+-	1.52656	0.99+- 0.11 -0.1
ECTC	ECTU	* 3.2000+-	0.32000	3.71665+-	0.44924	1.16+- 0.18 0.9
NAXC	NAXU	-99.0000+-	*****	0.08498+-	0.07779	0.00+- 0.00 1.0
MGXC	MGXU	0.1000+-	0.01000	0.03507+-	0.04101	0.35+- 0.41 -1.5
ALXC	ALXU	0.6200+-	0.06000	0.30565+-	0.18028	0.49+- 0.29 -1.7
SIXC	SIXU	M -99.0000+-	*****	0.85392+-	0.04607	0.00+- 0.00 1.0
PHXC	PHXU	0.0300+-	0.00000	0.01286+-	0.01308	0.43+- 0.44 -1.3
SUXC	SUXU	-99.0000+-	*****	0.61077+-	0.05773	0.00+- 0.00 1.0
CLXC	CLXU	-99.0000+-	*****	0.22629+-	0.12376	0.00+- 0.00 1.0
KPXC	KPXU	-99.0000+-	*****	0.08366+-	0.00741	0.00+- 0.00 1.0
CAXC	CAXU	0.3500+-	0.04000	0.38138+-	0.33876	1.09+- 0.98 0.1
TIXC	TIXU	0.0100+-	0.00000	0.05284+-	0.03420	5.28+- 3.42 1.3
VAXC	VAXU	2.1300+-	0.21000	0.00729+-	0.59743	0.00+- 0.28 -3.4
CRXC	CRXU	0.0500+-	0.01000	0.15672+-	0.15236	3.13+- 3.11 0.7
MNXC	MNXU	* 0.0500+-	0.01000	0.02344+-	0.02109	0.47+- 0.43 -1.1
FEXC	FEXU	0.1300+-	0.01000	0.26351+-	0.03969	2.03+- 0.34 3.3
COXC	COXU	0.0700+-	0.01000	0.00000+-	0.00300	0.00+- 0.04 -6.7
NIXC	NIXU	0.0800+-	0.01000	0.00111+-	0.00111	0.01+- 0.01 -7.8
CUXC	CUXU	0.1300+-	0.01000	0.01170+-	0.02464	0.09+- 0.19 -4.4
ZNXC	ZNXU	0.2400+-	0.02000	0.02056+-	0.00226	0.09+- 0.01 -10.9
GAXC	GAXU	0.1500+-	0.02000	0.00000+-	0.00226	0.00+- 0.02 -7.5
ASXC	ASXU	0.2900+-	0.03000	0.00000+-	0.00388	0.00+- 0.01 -9.6