



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**“ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE PARTÍCULAS POR
MANEJO DE GRANEL EN RECINTOS PORTUARIOS. CASO
DE ESTUDIO: RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ.”**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA:
ESTIVALIS ROJAS MAYORGA



México, Cd. de México

2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado Asignado:

Presidente: Profesor: Alfonso Durán Moreno
Vocal: Profesor: Sergio Adrián García Álvarez
Secretario: Profesor: Humberto Bravo Álvarez
1° Suplente: Profesor: Gema Luz Andraca Ayala
2° Suplente: Profesor: Alejandra Mendoza Campos

Sitio donde se desarrolló el tema:

Centro de Ciencias de la Atmósfera –Sección de Contaminación Ambiental –
Universidad Nacional Autónoma de México.

Asesor del tema:

Dr. Humberto Bravo Álvarez

Supervisor técnico:

Dr. Rodolfo Sosa Echeverría

Sustentante:

Estivalis Rojas Mayorga

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
NOMENCLATURA	VI
RESUMEN	1
1 INTRODUCCIÓN.....	3
Meta	5
Objetivos	5
Alcance.....	5
Justificación.....	6
2 ANTECEDENTES	9
2.1. Contaminación Atmosférica	9
2.1.1. Definición de Contaminación Atmosférica	9
2.1.2. Contaminantes atmosféricos.....	9
2.1.3 Partículas.....	9
2.2 Estimación de emisiones atmosféricas	18
2. 2. 1 Estimación de emisiones	18
2.2.1.1. Métodos de estimación de emisiones	19
2.2.1.2 Factores de emisión.....	20
2.2.1.3. Desarrollo de factores de emisión para manipulación de materiales a granel en el recinto portuario de Veracruz.....	24
2.3 Recintos Portuarios.....	26
2.3.1. Puerto	27
2.3.2. Contaminación del aire en puertos	29
3 CASO DE ESTUDIO	32
3.1 Recinto Portuario de Veracruz	32
3.1.1 Infraestructura del Recinto Portuario	33
3.1.2 Descripción General del Recinto Portuario de Veracruz.....	36
3.1.3. Proyecto Puertos Verdes	43
4 METODOLOGÍA.....	45

4.1. Emisiones fugitivas de partículas por manejo de granel agrícola	45
4.2. Emisiones fugitivas de partículas por manejo de granel mineral	47
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
5.1. Análisis del manejo de materiales de granel agrícola y mineral durante 2014 y 2015.....	52
5.2. Resultados de la estimación de emisiones fugitivas de partículas emitidas por el manejo de granel agrícola	57
5.3. Resultados de la estimación de emisiones fugitivas de partículas emitidas por el manejo de granel mineral	73
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
6.1. CONCLUSIONES	79
6.2 RECOMENDACIONES	81
7 BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXO 1	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2. 1. Proceso químico de formación de partículas secundarias.	11
---	----

Capítulo 3

Figura 3. 1. Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave	32
Figura 3. 2. Recinto Portuario de Veracruz	33
Figura 3. 3. Áreas del Recinto Portuario cesionadas y de almacenamiento.....	35
Figura 3. 4. Silos de almacenamiento de granos en el Recinto Portuario de Veracruz	37
Figura 3. 5. Bandas transportadoras de granos en el Recinto Portuario de Veracruz	38
Figura 3. 6. Localización de las áreas de almacenamiento de granel agrícola en el Recinto Portuario.....	40
Figura 3. 7. Descarga de granel mineral en el Recinto Portuario de Veracruz.....	41
Figura 3. 8. Localización de las áreas de almacenamiento de granel mineral en el Recinto Portuario.....	43

Capítulo 4

Figura 4. 1. Muestras de granos a granel del Recinto Portuario de Veracruz	46
Figura 4. 2. Muestra de coque de petróleo del recinto portuario de Veracruz	47

Capítulo 5

Figura 5. 1. Carga manejada por segmento en el Recinto Portuario de Veracruz en el año 2014	52
Figura 5. 2. Carga manejada por segmento en el Recinto Portuario de Veracruz en el año 2015	53
Figura 5. 3. Productos de granel agrícola manejados durante el 2014 en el Recinto Portuario de Veracruz.....	54
Figura 5. 4. Productos de granel agrícola manejados durante el 2015 en el Recinto Portuario de Veracruz.....	54
Figura 5. 5. Productos de granel mineral manejados durante el 2014 en el Recinto Portuario de Veracruz.....	55
Figura 5. 6. Productos de granel mineral manejados durante el 2015 en el Recinto Portuario de Veracruz.....	56
Figura 5. 7. Emisiones de partículas por actividades de manejo de arroz en el 2014	62

Figura 5. 8. Emisiones de partículas por actividades de manejo de arroz en el 2015	62
Figura 5. 9. Emisiones de PM ₁₀ por actividades de manejo de arroz en el 2014.....	63
Figura 5. 10. Emisiones de PM ₁₀ por actividades de manejo de arroz en el 2015	63
Figura 5. 11. Emisiones de PM _{2.5} por actividades de manejo de arroz en el 2014	64
Figura 5. 12. Emisiones de PM _{2.5} por actividades de manejo de arroz en el 2015	64
Figura 5. 13. Emisiones de partículas por actividades de manejo de maíz en el 2014	66
Figura 5. 14. Emisiones de partículas por actividades de manejo de maíz en el 2015	66
Figura 5. 15. Emisiones de PM ₁₀ por actividades de manejo de maíz en el 2014	67
Figura 5. 16. Emisiones de PM ₁₀ por actividades de manejo de maíz en el 2015	67
Figura 5. 17. Emisiones de PM _{2.5} por actividades de manejo de maíz en el 2014	68
Figura 5. 18. Emisiones de PM _{2.5} por actividades de manejo de maíz en el 2015	68
Figura 5. 19. Emisiones de partículas totales para el manejo de arroz en el 2014 ...	70
Figura 5. 20. Emisiones de partículas totales para el manejo de arroz en el 2015 ...	70
Figura 5. 21. Emisiones de partículas totales por el manejo de maíz en el 2014.....	71
Figura 5. 22. Emisiones de partículas totales por el manejo de maíz en el 2015.....	71
Figura 5. 23. Emisiones fugitivas de partículas por la carga y descarga en las pilas de almacenamiento de coque de petróleo en el 2014.....	77
Figura 5. 24. Emisiones fugitivas de partículas por la carga y descarga en las pilas de almacenamiento de coque de petróleo en el 2015.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla 2. 1. Penetrabilidad de las partículas en el tracto respiratorio conforme su tamaño	13
Tabla 2. 2. Valores límites permisibles para la concentración de PM ₁₀ y PM _{2.5} en la NOM-025-SSA1-1993 y su actualización.	15
Tabla 2. 3. Normas mexicanas que establecen los niveles máximos de emisión de partículas a la atmósfera considerando fuentes fijas y móviles.	15
Tabla 2. 4. Valores de exposición para PM ₁₀ y PM _{2.5} establecidos en las guías de la calidad de aire por la OMS	17
Tabla 2. 5. Valores de exposición para PM ₁₀ y PM _{2.5} establecidos en las normas nacionales de calidad de aire por la USEPA	17
Tabla 2. 6. Valores de exposición para PM ₁₀ y PM _{2.5} establecidos por las normas basadas en la salud por la Comisión Ambiental Europea.	17
Tabla 2. 7 Comparativo de métodos de estimación de contaminantes	19
Tabla 2. 8. Clasificación de actividades portuarias.....	26

Capítulo 3

Tabla 3.1. Áreas de almacenamiento de granel agrícola en el Recinto.....	39
Tabla 3.2. Áreas de almacenamiento de granel mineral en el Recinto.....	42

Capítulo 4

Tabla 4.1. Multiplicador del tamaño de partícula	49
--	----

Capítulo 5

Tabla 5. 1. Emisiones fugitivas de partículas emitidas por el manejo de granel agrícola en enero del 2014 y 2015.	59
Tabla 5. 2. Emisiones fugitivas de partículas por la carga y descarga en las pilas de almacenamiento de coque de petróleo en el Recinto Portuario de Veracruz durante el 2014.	73
Tabla 5. 3. Emisiones fugitivas de partículas por la carga y descarga en las pilas de almacenamiento de coque de petróleo en el Recinto Portuario de Veracruz durante el 2015	75

NOMENCLATURA

CO.....Monóxido de carbono

COV's.....Compuestos orgánicos volátiles

DOF.....Diario Oficial de la Federación

FE.....Factores de emisión

HC.....Hidrocarburos

H₂SO₄.....Ácido sulfúrico

INDAPORT....Sistema de Indicadores Ambientales para el Sistema Portuario Español.

Kg.....kilogramo

KCS....."Kansas City Southern"

µm.....micrómetros

Mg.....megagramo

NH₃.....Amoniaco

NO₃⁻.....Nitratos

NO₂.....Dióxido de nitrógeno

NO_x.....Óxidos de nitrógeno

NRDC....."Natural Resources Defense Council"

O₃.....Ozono

OMS.....Organización Mundial de la Salud

PAN.....Peroxiacetilnitrato

Pb.....Plomo

PM.....Partículas

PM₁₀.....Partículas con diámetro igual o menor de 10 micrómetros

PM_{2.5}.....Partículas con diámetro menor o igual a 2.5 micrómetros

Nomenclatura

PST.....Partículas suspendidas totales

SO₂.....Dióxido de azufre

SO₄⁻².....Sulfatos

SOx.....Óxidos de azufre

Ton.....Toneladas

USEPA....."United States Environmental Protection Agency"

RESUMEN

En diversos puertos se transporta una gran variedad de productos a granel agrícola y mineral, cuyas actividades de manipulación, transporte y almacenamiento son fuentes de emisiones fugitivas de partículas en sus diferentes tamaños (PST, PM₁₀ y PM_{2.5}).

En este trabajo se estimaron las emisiones fugitivas de partículas generadas por el manejo de granel agrícola y mineral durante los años 2014 y 2015, en el recinto portuario de Veracruz. Para realizar estas estimaciones se utilizó la metodología de factores de emisión del AP-42 de la USEPA. Con el propósito recomendar estrategias de prevención, minimización y control de estas emisiones, identificando las actividades potenciales que las generan y obteniendo una estimación cuantitativa de ellas.

En el caso del granel agrícola, se realizó la estimación para 12 materiales (maíz, trigo, sorgo, soya, maíz triturado, cebada, malta, semilla de canola, arroz, gluten de maíz, salvado de trigo y grano seco) manipulados en el recinto portuario de Veracruz durante el periodo de estudio, realizándose estimaciones de partículas, PM₁₀ y PM_{2.5}, para cuatro actividades diferentes (recepción, manipulación, almacenamiento y envío del grano). Se aplicaron los factores de emisión correspondientes para cada actividad de acuerdo a los equipos y transporte de manipulación utilizados dependiendo del material analizado.

Los resultados obtenidos muestran que las mayores emisiones fugitivas de partículas se presentaron por el manejo de maíz, ya que se manejaron las cantidades más altas durante los años 2014 y 2015. La actividad que mayor cantidad de emisiones de partículas y PM₁₀ genera, es la de recepción del grano por barco y para las PM_{2.5} la actividad de manipulación del maíz genera sus mayores emisiones.

Para el caso de las estimaciones de emisiones fugitivas de partículas por el manejo de granel mineral, se realizó la estimación de las emisiones por las operaciones de carga y descarga de coque de petróleo en pilas de almacenamiento, el cual es uno de los materiales manejado en mayores cantidades y que se almacena en un área

abierta dentro del recinto. Estas estimaciones se realizaron para 5 tamaños de partículas diferentes ($<30 \mu\text{m}$, $<15 \mu\text{m}$, $<10 \mu\text{m}$, $<5 \mu\text{m}$ y $<2.5 \mu\text{m}$) durante los meses en que se trabajó durante los años 2014 y 2015.

Los resultados de las estimaciones de emisiones para el coque de petróleo muestran que las partículas de mayor tamaño ($<30 \mu\text{m}$) son las que más se emiten, en un 93% con respecto a las de menor tamaño ($<2.5 \mu\text{m}$). Estos resultados dependen de manera significativa de la velocidad del viento y del porcentaje de humedad del coque de petróleo.

Los resultados para las estimaciones de emisiones fugitivas de partículas por el manejo de granel mineral y agrícola, indican que estas emisiones dependen de manera importante de las características de los materiales manipulados, así como de las velocidades del viento en las proximidades de las operaciones de su manipulación. La cantidad de emisiones fugitivas de partículas varía con el volumen del material a granel que se manipula.

Para controlar este tipo de emisiones, es importante disminuir el tiempo en que se realizan las operaciones de manipulación, así como evitar lo mayor posible el contacto del material a granel en áreas abiertas para disminuir el impacto de las corrientes de aire. Medidas de control como la aplicación de una mezcla de agua con celulosa en la pilas de almacenamiento del coque de petróleo, es una manera de disminuir las emisiones fugitivas de partículas al medio ambiente. Pudiendo aplicarse un método similar para los materiales de granel agrícola.

1 INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire puede ocasionar impactos negativos en los ecosistemas naturales y en la salud humana (SEMARNAT, 2012). En México la contaminación atmosférica es un problema generalizado en las grandes zonas metropolitanas del país. El crecimiento demográfico, las industrias, el incremento de parques industrializados, entre otros factores; han incrementado la contaminación atmosférica (INECC, 2000).

Uno de los contaminantes atmosféricos más estudiado son las partículas, las cuales se originan a partir de una infinidad de fuentes y poseen un gran rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas (Arciniégas, 2012).

Las partículas representan un problema de salud pública, sus efectos dependen de la concentración, composición química y tamaño. El riesgo es mayor a medida que se reduce el tamaño de la partícula y el incremento en la concentración está relacionado con enfermedades respiratorias, cardiovasculares y un incremento en el riesgo de mortalidad (SIMAT, 2015). Aún las partículas de mayor tamaño pueden llegar a ocasionar importantes molestias en los receptores cercanos a la fuente (Gobierno Vasco, 2012)

Las emisiones de partículas generadas por fuentes abiertas se denominan “fugitivas” porque no se descargan a la atmósfera en una corriente de flujo confinado. Las fuentes comunes de emisiones fugitivas de partículas incluyen carreteras sin pavimentar, operaciones de arado agrícola, pilas de almacenamiento y manejo de materiales, así como operaciones de construcción pesadas (USEPA, 2015 e).

Con respecto a la actividad industrial, los puertos tienen una importante participación en el intercambio internacional y nacional de bienes, ya que el transporte marítimo tiene las ventajas de tener una cobertura geográfica amplia y por este medio se pueden desplazar grandes volúmenes de material y mercancías con gran eficiencia. Sin embargo, las numerosas actividades desarrolladas en los puertos, generan emisiones atmosféricas (Rúa, 2006).

En México existen 102 sitios habilitados como puertos y 15 terminales (STC, 2015), entre estos puertos se encuentra el recinto portuario de Veracruz que cuenta con una infraestructura de servicios moderna, ubicándolo como líder nacional en el movimiento de graneles agrícolas, automóviles y contenedores en el Golfo de México; su aduana es la primera aduana marítima de México por el valor de sus mercancías y la segunda por el volumen total de carga. Es el único puerto que manipula el 100% de carga netamente comercial y que manipula de manera significativa los seis segmentos de carga más importantes a nivel nacional: carga contenerizada, carga general, granel agrícola, granel mineral, vehículos y fluidos no petroleros (APIVER, 2015 c).

En el recinto portuario de Veracruz se llevan a cabo múltiples actividades, entre las cuales se encuentra el manejo de granel, carga y descarga de los buques a las áreas de almacenaje y viceversa, tanto de granel mineral como granel agrícola, estas actividades, son fuentes potenciales de emisiones fugitivas de partículas, en sus diferentes modalidades PST, PM₁₀ y PM_{2.5}.

Las emisiones fugitivas de partículas que se generan por el manejo de granel en el recinto portuario de Veracruz son llamadas de esta manera, debido a que no son descargadas a la atmósfera en una corriente de flujo confinada (USEPA, 2015 e). Las emisiones fugitivas de partículas se producen en varios puntos del ciclo de almacenamiento: durante la carga de material en la pila, durante los disturbios por las corrientes de viento fuerte y durante la carga de salida de la pila. El movimiento de camiones y equipos de carga en la zona de la pila de almacenamiento es también una fuente importante de emisiones de partículas. Estas emisiones dependen de datos meteorológicos como la velocidad del viento del lugar y de las características del material manipulado como granulometría y humedad (Cowherd, 1974).

Para realizar la estimación de las emisiones fugitivas de partículas generadas por el manejo de granel en el recinto portuario de Veracruz, se empleó el método de factores de emisión, utilizando como fuente de información la publicación AP-42 "Compilation of air pollutant emission factors" (USEPA, Quinta edición, 1995).

Meta

Estimar mediante factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) las emisiones de partículas por el manejo de granel agrícola y mineral en el Recinto Portuario de Veracruz durante los años 2014 y 2015, para proponer medidas de prevención, minimización y control de estas emisiones.

Objetivos

-Recopilar información necesaria histórica de las cantidades mensuales de materiales a granel manejados en el recinto portuario de Veracruz de los años 2014 y 2015.

-Recopilar información histórica de datos meteorológicos del recinto portuario de Veracruz del periodo de los años 2014 y 2015.

-Aplicar la metodología de factores de emisión del AP-42 de la USEPA para la estimación de emisiones fugitivas de partículas por manejo de granel.

-Recomendar estrategias para que favorezcan la prevención, minimización y control de las emisiones de partículas generadas por el manejo de granel en el recinto portuario de Veracruz.

Alcance

El estudio incluye la estimación de emisiones fugitivas de partículas generadas en el recinto portuario de Veracruz, por actividades seleccionadas de manipulación y almacenamiento de materiales a granel durante los años 2014 y 2015. Para los dos tipos de granel manejados en el recinto (mineral y agrícola), sin embargo para cada uno de estos, se consideraron diferentes actividades de manipulación y tamaño de material.

En el caso del granel mineral se estimaron las emisiones fugitivas, considerando la manipulación del coque de petróleo en las operaciones de carga, descarga y

almacenamiento, para cinco tamaños de partículas (<30 μm , <15 μm , <10 μm , <5 μm y <2.5 μm).

Para el granel agrícola la estimación de emisiones fugitivas de partículas por el manejo de todos los materiales agrícolas de importación manipulados (maíz, sorgo, trigo, cebada, malta, salvado de trigo, maíz triturado, gluten de maíz, semilla de canola, arroz, grano seco y soya), para cuatro actividades de manejo (recepción, manipulación, almacenamiento y envío del grano).

Justificación

Las partículas fugitivas tienen el potencial de afectar negativamente a la salud humana o el medio ambiente. Se definen como "partículas que se generan o emiten por operaciones en áreas abiertas (las emisiones que no pasan a través de una chimenea o un conducto)". Las partículas fugitivas reducen la visibilidad, pueden causar daños a propiedades estéticas e impactar las superficies de agua; además pueden causar condiciones peligrosas al manejar (Fugitive Dust FAQs, 2011).

El exceso de emisiones fugitivas de partículas puede tener un impacto significativo en la salud humana. Las partículas de menor tamaño, como lo son las PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$, tienen mayor capacidad de penetrar a áreas más profundas del sistema respiratorio (SEMARNAT, 2011). Las personas con mayor riesgo de contaminación por partículas de respiración son los niños, los ancianos y las personas con enfermedades respiratorias o del corazón. Las personas sanas pueden verse afectados también, especialmente los deportistas que realizan actividades al aire libre. Las emisiones de partículas fugitivas se han relacionado con: asma, enfisema, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, bronquitis crónica y enfermedades del corazón (Fugitive Dust FAQs, 2011).

Es importante identificar y cuantificar las emisiones fugitivas de partículas y sus impactos asociados con las operaciones de manejo y manipulación de materiales a granel, para ayudar a controlar estas emisiones y mejorar el rendimiento medioambiental del lugar que las genera.

Los puertos tienen un papel fundamental en la economía de un país y conforman un entorno productivo y logístico de gran importancia en la cadena del transporte, en ellos se realizan diversas actividades las cuales representan un factor estratégico en el comercio internacional y nacional, además de que contribuyen a su desarrollo, ejemplo de estas actividades son: la manipulación de mercancías, su depósito y almacenaje, inspección y control de mercancías por parte de las administraciones públicas, la consolidación y desconsolidación de cargas, servicios de apoyo a buques, etc. (Rúa, 2006).

Sin embargo, estas actividades pueden ocasionar impactos negativos que contribuyen al deterioro ambiental, ocasionando daños a la salud pública y al medio ambiente. Estos impactos negativos incluyen contaminación atmosférica ya que estas actividades generan emisiones a la atmósfera (Gobierno vasco, 2012).

En México, el puerto de Veracruz es uno de los principales puertos del país por donde se mueven las mercancías del comercio exterior con alto valor comercial, es el puerto comercial más importante en el Golfo de México. Actualmente tiene una importancia estratégica en el intercambio de mercancías vía marítima, ya que permite el acceso a los mercados europeos y norteamericanos. A nivel nacional, es líder en el movimiento de graneles agrícolas, automóviles y contenedores en el Golfo de México (APIVER, 2015 c).

El recinto portuario de Veracruz genera emisiones fugitivas de partículas a la atmósfera, perjudiciales para al ambiente y población. Ya que cada año grandes cantidades de materiales a granel son movilizadas y su manipulación genera emisiones de partículas en sus diferentes modalidades a la atmósfera.

En el año del 2015, el recinto portuario de Veracruz tuvo un movimiento de carga de granel agrícola (maíz, trigo, soya, semilla de canola, arroz, gluten de maíz, cebada, malta, azúcar) de 6, 698, 472 toneladas (importación y exportación). Mientras que para el granel mineral, el movimiento de carga para el año 2015 fue de 2, 334, 323

cuyos productos principales fueron: coque de petróleo, fertilizantes, chatarra, arrabio de fierro, briqueta de fierro y ferrosilicomagnesio (APIVER, 2015 a).

Debido a las demandas comerciales que ha tenido el recinto portuario de Veracruz durante los últimos años, se ha producido un incremento en los movimientos de carga de manera importante, esto ha provocado que se busque una modernización en su infraestructura, equipos e instalaciones, con lo que pueda obtener mayores estándares que le permitan competir a nivel mundial (APIVER, 2008).

Esta modernización también traerá consigo incrementos en las emisiones fugitivas de partículas, por lo cual, se deberán tomar las medidas necesarias para prevenirlas, minimizarlas y controlarlas. Debido a que la modernización y ampliación del puerto incluye implementar proyectos específicos para conservar las cargas de granel mineral y agrícola actuales y conseguir nuevas, además para el manejo del granel se incrementará el almacenaje en las superficies de empresas privadas mediante la construcción de nuevas instalaciones (APIVER, 2008).

Debido a las afectaciones asociadas con las emisiones fugitivas de partículas, es importante realizar una estimación éstas emisiones, para poder cuantificar e identificarlas a tiempo y poder establecer medidas de prevención, minimización y control, ya que con la modernización del recinto portuario incrementará la cantidad de materiales a granel manejados, incrementándose también las emisiones de partículas.

2 ANTECEDENTES

2.1. Contaminación Atmosférica

2.1.1. Definición de Contaminación Atmosférica

La Ley 34/2007, de calidad del aire y protección de la atmósfera, define como contaminación atmosférica a la presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza (BOE, 2007).

2.1.2. Contaminantes atmosféricos

La World Health Organization Europe divide en dos grupos a los contaminantes del aire (WHO/Europe, 2005):

a) Contaminantes primarios: Aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisión, por ejemplo: plomo (Pb), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC), partículas (PM), entre otros.

b) Contaminantes secundarios: Aquellos originados en el aire por la interacción entre dos o más contaminantes primarios, o por sus reacciones con los componentes naturales de la atmósfera, por ejemplo: ozono (O₃), peroxiacetilnitrato (PAN), sulfatos (SO₄²⁻), nitratos (NO₃⁻), ácido sulfúrico (H₂SO₄), partículas (PM) , entre otros.

2.1.3 Partículas

El término partículas (PM) se refiere a cualquier sustancia en fase sólida o líquida que se encuentre suspendida en el aire. Entre los que se encuentran hollín, polvo, aerosoles, humos y nieblas (USEPA, 2015 g).

2.1.3.1 Clasificación de partículas

Las partículas pueden clasificarse de diferentes maneras de acuerdo con diferentes criterios, los más comunes se describen a continuación (SEMARNAT, 2011):

a) Partículas según su origen

Las partículas ambientales se clasifican en partículas primarias y secundarias, conforme al siguiente criterio:

Partículas primarias son aquellas que se emiten directamente a la atmósfera por diversas fuentes (ejemplo, el humo oscuro que se observa en los escapes de coches y camiones y el polvo de las calles).

Partículas secundarias: son aquellas 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 (SO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (COV's) y el amoníaco (NH_3), los cuales forman partículas de sulfatos y nitratos principalmente, así como partículas suspendidas secundarias orgánicas derivadas de la oxidación fotoquímica de los compuestos orgánicos. En la figura 2.1 se muestra un ejemplo del proceso químico de la formación de partículas secundarias.

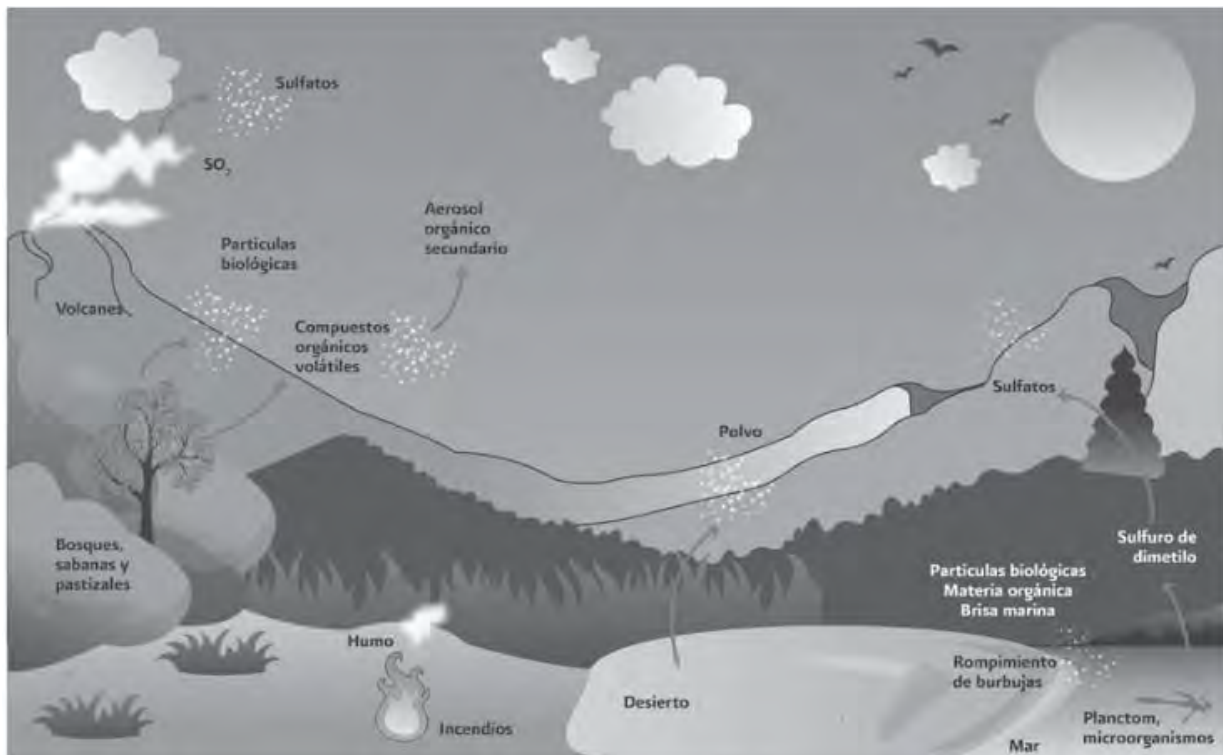


Figura 2. 1. Proceso químico de formación de partículas secundarias.
Fuente: (SEMARNAT, 2011)

b) Partículas según su tamaño

Otra clasificación para las partículas suspendidas es por su tamaño, aunque como tienen una infinidad de formas es imposible caracterizarlas con una sola dimensión geométrica real. Por ello, se utiliza el diámetro aerodinámico como un indicador del tamaño de la partícula; el diámetro aerodinámico se define como el diámetro de una esfera de densidad igual a 1 g/cm^3 con la misma velocidad de sedimentación que la partícula en cuestión (USEPA, 1997).

De acuerdo a su diámetro, las partículas se agrupan en finas y gruesas. Las partículas finas son las de diámetro aerodinámico menor o igual a $2.5 \text{ }\mu\text{m}$, $\text{PM}_{2.5}$. Otro grupo de partículas está constituido por aquellas cuyo diámetro aerodinámico se centra alrededor de las 10 micras, PM_{10} . Dentro de la clasificación de las partículas tenemos el material de partículas suspendidas, que se refiere a todas las partículas rodeadas por aire, en un determinado volumen de aire no perturbado. Las Partículas

Totales en Suspensión (TSP, por sus siglas en inglés). En el rango de partículas finas se encuentran los aerosoles primarios del carbón, y aerosoles secundarios resultado de transformaciones químicas seguidas por procesos de condensación. Las partículas gruesas (PM_{10}) resultan principalmente de procesos mecánicos como la resuspensión, abrasión o fricción, son predominantemente de origen natural o geológico. Pueden ser por ejemplo esporas, polen, suelos, partículas de hojas, polvos generados por el tráfico o producto del desgaste de las plantas y partículas de emisiones industriales. En la superficie de estas partículas pueden adsorberse otras especies contaminantes (Sbarato et. al, 2016).

2.1.3.2. Efectos en la salud

Las partículas suspendidas representan un problema importante en la salud pública, ya que sus efectos dependen de su concentración, composición química y tamaño. El riesgo es mayor a medida que se reduce el tamaño de la partícula y el incremento en su concentración está relacionado con enfermedades respiratorias, cardiovasculares y un incremento en el riesgo de mortalidad (SIMAT, 2015).

De acuerdo al tamaño de las partículas entran fácilmente en las diferentes regiones del tracto respiratorio, donde pueden depositarse y causar efectos adversos sobre la salud (Tabla 2.1), pudiendo causar: tos, dificultad para respirar, alteraciones en la función respiratoria e incluso cambios fisiológicos en el pulmón. El aumento en los niveles ambientales de partículas es responsable del incremento en la mortalidad de individuos con condiciones cardiovasculares y/o respiratorias previas. Además, las emisiones de $PM_{2.5}$ también causan problemas de visibilidad, por la presencia de aerosoles (INE, 2005).

Tabla 2. 1. Penetrabilidad de las partículas en el tracto respiratorio conforme su tamaño

Tamaño de partícula (µm)			Región hasta donde puede ocurrir la penetración
	>	11	Capturadas en orificios nasales; no penetran en la parte baja del tracto respiratorio
7	-	11	Pasaje nasal
4.7	-	7	Región de la laringe
3.3	-	4.7	Tráquea y región primaria bronquial
2.1	-	3.3	Región bronquial secundaria
1.1	-	2.1	Región bronquial terminal
0.65	-	1.1	Bronquiolos
0.43	-	0.65	Alveolos

Fuente: (Wilson et al., 1996), (Ghio et al., 1999)

2.1.3.3 Fuentes emisoras de partículas

Las partículas pueden originarse de fuentes antropogénicas y naturales (Aldabe, 2011):

- **Fuentes Naturales**

Son las partículas que proceden de emisiones no causadas, directa o indirectamente, por actividades humanas, lo que incluye fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, actividades sísmicas y geotérmicas, incendios de zonas silvestres, fuertes vientos, aerosoles marinos, resuspensión atmosférica y transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas.

- **Fuentes antropogénicas**

Estas incluyen, entre otras, aquellas relacionadas con los procesos de combustión ligados a industrias, al tráfico o a las actividades domésticas. Caracterizadas por presentarse en forma de material carbonoso. También se incluye el material mineral asociado a procesos de demolición y erosión de pavimento, frenos y neumáticos. El número de emisiones de origen industrial es muy variado, destacando las actividades metalúrgicas y la producción de cemento y ladrillos, etc. Otro grupo numeroso lo

constituyen aquellas partículas formadas en la atmosfera a partir de precursores gaseosos emitidos por éstas y otras fuentes antrópicas.

2.1.3.4 Normatividad Aplicable

Existen normas y estándares que limitan las concentraciones ambientales de partículas suspendidas, con el fin de proteger la salud de la población.

Normatividad Mexicana

La Secretaria de Salud es la dependencia encargada del establecimiento de normas para cuidar la calidad del aire en México. En un principio, esta dependencia emitió en 1994 la Norma Oficial Mexicana NOM-024-SSA1-1993, en la que se estableció el valor permisible para la concentración de partículas suspendidas totales en el aire del ambiente. Y en este mismo año, se publicó la NOM-025-SSA1-1993 para las PM_{10} y posteriormente se combinaron las dos normas anteriores y se incluyó el límite máximo permisible para $PM_{2.5}$, en una modificación de la NOM-025, que se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en el 2005 (COFEPRIS, 2015).

En el año 2014, la Secretaria de Salud publicó la NOM-025-SSA1-2014, “Salud Ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas, PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el aire ambiente y criterios para su evaluación”; modificando la NOM-025-SSA1-1993, “Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales (PST), partículas menores de 10 micrómetros (PM_{10}) y partículas menores de 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire”; con la que se reducen los límites permisibles de concentración de partículas suspendidas en el aire, en estas normas los valores límites permisibles para PM_{10} y $PM_{2.5}$ establecidos se muestran en la Tabla 2.2:

Tabla 2. 2. Valores límites permisibles para la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5} en la NOM-025-SSA1-1993 y su actualización.

Contaminante	Promedio de 24 horas (µm/m ³)		Promedio anual(µm/m ³)	
	Norma Anterior (1993)	Norma Vigente (2014)	Norma anterior (1993)	Norma Vigente (2014)
PM ₁₀	120	75	50	40
PM _{2.5}	65	45	15	12

Fuente: (DOF, 2005 y 2014)

La Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), es la dependencia encargada de establecer normas que señalen los límites de emisión de partículas para diferentes fuentes. Existen normas de emisión para partículas totales en procesos específicos, así como para vehículos nuevos de varios pesos y que queman diferentes combustibles, para fuentes fijas y para aquellas fuentes que queman combustibles fósiles. Sin embargo, en México no existe una norma específica de emisión de PM_{2.5} (SEMARNAT, 2015).

La Tabla 2.3 muestra las normas mexicanas que establecen los niveles máximos de emisión de partículas a la atmósfera para diferentes tipos de fuentes:

Tabla 2. 3. Normas mexicanas que establecen los niveles máximos de emisión de partículas a la atmósfera considerando fuentes fijas y móviles.

Norma	Aplicación
Emisiones de fuentes fijas	
NOM-040-SEMARNAT-2002; Protección ambiental - Fabricación de cemento Hidráulico- Niveles máximos de emisión a la atmósfera	Aplicable a las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento hidráulico, y que utilicen combustibles convencionales o sus mezclas con otros materiales o residuos que son combustibles.
NOM-043-SEMARNAT-1993; Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.	Aplicable a las fuentes fijas que emitan partículas sólidas a la atmósfera, con la excepción de las que se rigen por normas oficiales mexicanas específicas.
NOM-085-SEMARNAT-2011; Contaminación atmosférica- Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.	Aplicable para fuentes fijas que utilizan equipos de combustión de calentamiento indirecto con combustibles convencionales o sus mezclas, en la industria, comercios y servicios, con el fin de proteger la calidad del aire.

Norma	Aplicación
NOM-097-SEMARNAT-1995; Límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país.	Se aplica a la industria vidriera que cuente con hornos de fundición de vidrio con capacidad superior a 5 t/día.
NOM-105-SEMARNAT- 1996; Niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total proveniente de los procesos de recuperación de químicos de las plantas de fabricación de celulosa.	Se aplica a los procesos de recuperación de químicos en la fabricación de celulosa.
Emisiones de Fuentes Móviles	
NOM-042-SEMARNAT-2003; Que estable los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.	Se aplica tanto a los vehículos nuevos fabricados en México, como a los fabricados en otros países que se importen definitivamente en el territorio nacional.
NOM-044-SEMARNAT-2006; Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diesel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a los 3857 kilogramos, así como para unidades nuevas con peso bruto vehicular mayor 3857 kilogramos equipadas con este tipo de motores.	Es aplicable para los fabricantes, importadores y ensambladores de los motores nuevos que usan diesel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos; así como provenientes del escape de unidades nuevas con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipadas con este tipo de motores.

Fuente: (SEMARNAT, 2015), (DOF, 2011)

Normatividad en otros países

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado guías de la calidad del aire, en donde se establecen valores de exposición para partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}) para exposiciones de largo plazo (media anual) y de exposición breve (media de 24 horas), los valores establecidos se muestran en la Tabla 2.4:

Tabla 2. 4. Valores de exposición para PM₁₀ y PM_{2.5} establecidos en las guías de la calidad de aire por la OMS

Contaminante	Media Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media de 24 horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM _{2.5}	10	25
PM ₁₀	20	50

Fuente: (OMS, 2006)

Otros estándares son dados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), en la norma nacional de calidad de aire para la salud se establecen los siguientes valores para PM₁₀ y PM_{2.5} (Tabla 2.5):

Tabla 2. 5. Valores de exposición para PM₁₀ y PM_{2.5} establecidos en las normas nacionales de calidad de aire por la USEPA

Contaminante	Media Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media de 24 horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM _{2.5}	35	15
PM ₁₀	50	150

Fuente: (USEPA, 2015 a), (USEPA, 2015 b)

La Comunidad Europea establece los siguientes valores máximos permisibles para PM₁₀ y PM_{2.5}:

Tabla 2. 6. Valores de exposición para PM₁₀ y PM_{2.5} establecidos por las normas basadas en la salud por la Comisión Ambiental Europea.

Contaminante	Media Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media de 24 horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM _{2.5}	25	-----
PM ₁₀	40	50

Fuente: (European Commission, 2015)

2.2 Estimación de emisiones atmosféricas

El término emisiones atmosféricas es utilizado para describir a los gases y partículas que se descargan en el aire o que se emiten por diversas fuentes (USEPA, 2016).

La estimación de emisiones atmosféricas tiene como propósito conocer las cantidades y tipos de contaminantes descargados a la atmósfera por uno o varios tipos de fuentes y determinar los efectos sobre la salud y los ecosistemas. Las estimaciones de emisiones resultan de gran importancia para el desarrollo de estrategias de control de emisiones, la determinación de la aplicabilidad de los programas de control de emisiones, la determinación de los efectos de las diferentes fuentes y estrategias de mitigación apropiadas (SEMARNAT, 2001).

2. 2. 1 Estimación de emisiones

Se han desarrollado diferentes métodos para cuantificar las emisiones de los contaminantes, que en general se dividen en directos e indirectos o de estimación. La medición directa de contaminantes en la fuente de emisión es el método más confiable para determinar las cantidades de emisiones. Por lo cual, si es posible obtener los datos de esta manera, siempre será preferible medir en vez de estimar. Sin embargo, la medición directa implica procedimientos de muestreo, personal especializado y requerimientos de equipos e instrumentos analíticos, lo que da como resultado costos adicionales a la empresa. Es por esto, que se emplean métodos de estimación de forma indirecta que también permiten cuantificar las emisiones (SEMARNAT, 2001).

Las unidades en que se expresan las emisiones relacionan la masa del contaminante por el tiempo en que son descargadas al aire. La siguiente ecuación describe la relación para cuantificar las emisiones del aire (Nazario, 2011):

$$E = \frac{M}{t}$$

Dónde:

E= Emisión del contaminante (masa/tiempo)

M= masa del contaminante

t= tiempo de emisión

2.2.1.1. Métodos de estimación de emisiones

Algunos de los métodos de estimación existentes para la cuantificación de emisiones son: factores de emisión, utilización de datos históricos de muestreo de fuente, balance de materiales, cálculos de ingeniería y modelos matemáticos (Tabla 2.7):

Tabla 2. 7 Comparativo de métodos de estimación de contaminantes

Método	Contaminante	Emisión	Escala espacial	Tiempo requerido	Factor económico
Medición directa	Se tiende a cubrir contaminantes específicos	Limitada a punto de emisión	Se aplica a una etapa del proceso o a un punto de emisión particular	El necesario para emisiones y análisis	Alto costo en función del número de mediciones
Factores de emisión	Depende de los datos existentes	Cualquier tipo de emisión	Se aplica a todas las escalas	Depende de la existencia del factor y la accesibilidad de la información	Bajo costo
Datos históricos	Procesos conocidos	Emisiones puntuales	Para procesos o puntos específicos	Depende del proceso y la accesibilidad de la información	Alto costo por acceso a la información
Balance de materiales	Requiere conocimiento del proceso y reacciones	Se usa para emisiones difusas y puntuales	No tiene alta resolución espacial	Depende de la experiencia y complejidad del proceso	El costo se mide en función del tiempo de análisis
Cálculos de ingeniería	Siempre aplica	Siempre aplica	Siempre aplica	Depende de la experiencia y datos disponibles	El costo se mide en función del tiempo de análisis

Método	Contaminante	Emisión	Escala espacial	Tiempo requerido	Factor económico
Modelos matemáticos	Requiere conocimiento del proceso y reacciones	Emisiones puntuales	Para puntos específicos	Depende de la experiencia y datos disponibles	Los programas por lo general son costosos y es necesario que los realice una persona con experiencia en ellos

(SEMARNAT, 2001)

De entre los métodos de estimación de emisiones, mencionados en la Tabla 2.7, la aplicación de factores de emisión es la que más actividades incluye, ya que está integrada por una recopilación de cientos de resultados de mediciones de emisiones realizadas a diferentes procesos y operaciones, lo que les permite ser representativos de una gran variedad de fuentes que usan un mismo proceso, combustible y/o actividad. La más completa y actualizada fuente de información sobre factores de emisión específicos para diferentes contaminantes atmosféricos es la publicación del AP-42 “Compilation of air pollutant emission factors” y el documento WEB Factor Information Retrieval System (WEBFIRE) la cual es una base de datos en línea que conjunta factores de emisión de contaminantes criterio y contaminantes tóxicos del aire (Nazario, 2014), (USEPA, 2015 c).

2.2.1.2 Factores de emisión

Un factor de emisión (FE) es un valor representativo que intenta relacionar la cantidad que se emite de un contaminante a la atmósfera con una actividad asociada con la emisión del contaminante. Usualmente se expresa como el peso del contaminante dividido entre una unidad de volumen, peso, distancia o duración de la actividad que emite el contaminante. Por lo general, estos factores son promedios de todos los datos disponibles de calidad aceptable y suponen ser valores representativos de los promedios a largo plazo para las diferentes fuentes (USEPA, 2015 h).

La ecuación general para la estimación de emisiones por factores de emisión es la siguiente:

$$E=FE \times NA \left(1-\frac{ER}{100}\right)$$

Dónde:

E= emisión del contaminante (masa del contaminante/tiempo)

FE= factor de emisión (masa del contaminante/masa del producto)

NA= nivel de actividad (masa del producto/tiempo)

ER= eficiencia de reducción de emisiones del equipo de control, (si no existe equipo de control, ER=0)

Los FE son valores que representan a la población total para un equipo específico o para algún tipo de fuente de una instalación. La utilización de los FE tiene como principal objetivo la facilitación de la estimación de las emisiones de contaminantes del aire que provienen de una gran diversidad de fuentes (Nazario, 2014).

Desarrollo de los factores de emisión

Los FE son desarrollados a partir de los resultados que se obtienen de una serie de pruebas o mediciones realizadas a una muestra representativa de fuentes, ubicadas dentro de una misma categoría. Por lo cual, la suposición que debe considerarse para aplicar los FE, es que las fuentes que se van a evaluar tienen características que son similares a las fuentes muestreadas (SEMARNAT, 2001).

-Calificación de los FE por la USEPA

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) califica a los FE del AP-42 de la A hasta la E, siendo la A la mejor calificación. Esta calificación es una indicación general de confiabilidad o solidez para los FE. La calificación se designa en función de la confiabilidad estimada de las pruebas que fueron utilizadas

para desarrollar el FE, además de la cantidad y características representativas de los datos utilizados para su desarrollo. Las calificaciones de los FE en el AP-42 deben ser consideradas como un indicador de la exactitud y precisión, ya que los FE son utilizados para estimar las emisiones de un gran número de fuentes. Para la asignación de la calificación de los FE se involucran dos pasos. El primero, es una evaluación de la calidad de los datos, la confiabilidad de los datos básicos de emisión que serán utilizados para el desarrollo de los FE, el segundo es una evaluación de la capacidad del FE para presentarse como un promedio anual nacional para la actividad de la fuente (USEPA, 2015 h).

La calidad de los datos de prueba tiene una clasificación de la A hasta la D y las calificaciones se asignan de la siguiente manera (USEPA, 2015 h):

A - Las pruebas se llevan a cabo por una metodología válida y se presentan con resultados suficientemente detallados para realizar una adecuada validación.

B- Las pruebas son realizadas por una metodología generalmente válida, pero carecen de resultados suficientemente detallados para una validación adecuada.

C- Las pruebas se basan en una metodología no válida o nueva, o carece de una cantidad significativa de información.

D- Las pruebas se basan en un método generalmente inaceptable, pero el método puede proporcionar el orden de magnitud para la emisión de la fuente.

Las calificaciones de los FE del AP-42 son una evaluación general de lo bueno que un factor de emisión es, basándose tanto en la calidad de la prueba (s) o en la información de la fuente del FE y de lo bien que representa la fuente de emisión. Las calificaciones más altas son asignadas a los FE basados en muchas observaciones imparciales, o en los procedimientos de prueba más ampliamente aceptados. Las

clasificaciones de calidad de los FE del AP-42 se asignan de la siguiente manera (USEPA, 2015 h):

A (Excelente)- Los FE se desarrollan a partir de los datos de prueba de la fuente de A y B y son tomados de una gran cantidad de instalaciones industriales elegidas al azar. La categoría de la población de fuente es suficientemente específica para minimizar la variabilidad.

B (Encima del promedio)- Los FE se desarrollan a partir de los datos de prueba A y B y son evaluados a partir de un "número razonable" de instalaciones. Aunque, no está claro si las instalaciones probadas representan una muestra aleatoria de la industria. La categoría de la población de la fuente es suficientemente específica para minimizar la variabilidad.

C (Promedio)- Los FE se desarrollan a partir de los datos de prueba A, B, y/o C y son de un número razonable de instalaciones. Aunque no está claro si las instalaciones probadas representan una muestra aleatoria de la industria. La categoría de la población de la fuente es suficientemente específica para minimizar la variabilidad.

D (Debajo del promedio)- Los FE se desarrollan a partir de los datos de prueba A, B y/o C y son evaluados de un pequeño número de instalaciones y puede haber razones para sospechar que estas instalaciones no representan una muestra aleatoria de la industria. También puede haber evidencia de variabilidad dentro de la población de la fuente.

E (Pobres)- Los FE se desarrollan a partir de los datos de prueba C y/o D y puede haber razones para sospechar que las instalaciones analizadas no representan una muestra aleatoria de la industria. También puede haber evidencia de variabilidad dentro de la población de la fuente.

2.2.1.3. Desarrollo de factores de emisión para manipulación de materiales a granel en el recinto portuario de Veracruz.

Para realizar un factor de emisión es necesario contar con los datos de las emisiones de interés, los cuales son obtenidos a través de mediciones directas de un proceso u operación. La razón de emisiones de la fuente, es expresada en términos de masa de contaminante emitida por unidad de tiempo (por ejemplo, kg de partículas por hora), se calcula como el promedio aritmético de los datos de prueba disponibles (USEPA, 2013).

Los datos de la actividad para el uso en el desarrollo de factores de emisión son el parámetro (s) que influyen directamente en la calidad y cantidad de emisiones de una unidad de proceso (USEPA, 2013). Los datos de actividad se expresan típicamente en términos de una entrada o salida de proceso por unidad de tiempo (para este caso, cantidad de material a granel (Ton) manejadas en el mes).

Los factores de emisión para procesos o actividades más complejos (la manipulación y almacenamiento de materiales a granel) se expresan típicamente mediante ecuaciones empíricas. La ecuación empírica relaciona las variables independientes con las emisiones de la fuente y proporciona una precisión predictiva mejorada en comparación con un factor de emisiones simple (USEPA, 2013), como es el caso de la ecuación utilizada en este trabajo para la estimación de emisiones de partículas para el manejo y almacenamiento de granel mineral.

Para el caso específico de las emisiones por el manejo de granel agrícola y mineral en el recinto portuario de Veracruz, se deben tomar muestras de las emisiones de partículas fugitivas para las diferentes actividades, las mediciones básicas deben incluir concentraciones de partículas determinadas con muestreadores de alto volumen y clasificación de su tamaño con impactadores de cascada. Las emisiones se calcularon a partir del promedio de todas las mediciones de partículas (USEPA, 1992).

Durante cada muestreo en campo, se debe evaluar continuamente la actividad de la fuente y las condiciones meteorológicas. Además, se deben tomar muestras del material a granel del área de emisión para su posterior análisis de laboratorio (USEPA, 1992).

2.3 Recintos Portuarios

En el artículo 2° de la Ley de Puertos (DOF, 1993) se define a un recinto portuario como: “La zona federal delimitada y determinada por la Secretaría y por la de Desarrollo Social en los puertos, terminales y marinas, que comprende las áreas de agua y terrenos de dominio público destinados al establecimiento de instalaciones y a la prestación de servicios portuarios”.

En los recintos portuarios se realizan diversas actividades como carga y descarga de mercancías de los barcos, almacenaje, inspección y control de mercancías por parte de las administraciones públicas, así como de otros servicios de gestión portuaria, en su conjunto estas actividades se conocen como actividades portuarias.

Según el Sistema de Indicadores Ambientales para el Sistema Portuario Español (INDAPORT) se enlista un total de 22 actividades portuarias (Tabla 2.8):

Tabla 2. 8. Clasificación de actividades portuarias

ACTIVIDADES PORTUARIAS	
1.- Tráfico Marítimo	12.- Servicios sanitarios
2.- Tráfico Terrestre	13.- Operaciones de emergencia
3.- Almacenamiento, carga y descarga de productos petrolíferos	14.- Actividades de mantenimiento y limpieza dentro del recinto portuario
4.- Almacenamiento, carga y descarga de graneles líquidos	15.- Dragado
5.- Almacenamiento, carga y descarga de graneles sólidos	16.- Tratamiento de residuos MARPOL
6.- Almacenamiento, carga y descarga de mercancía general containerizada	17. Obra civil
7.- Almacenamiento, carga y descarga de mercancía general no containerizada.	18.- Instalaciones y mercancías abandonadas o en desuso
8.- Actividad pesquera	19.- Actividades recreativas
9.- Manipulación y transformación de graneles sólidos perecederos	20.- Puertos deportivos
10.- Servicios portuarios	21.- Industria metálica
11.- Servicios administrativos	22.- Industria energética

Fuente: (INDAPORT, 2015)

2.3.1. Puerto

En el artículo 2° de la Ley de Puertos (DOF, 1993) se define puerto como: “el lugar de la costa o ribera habilitado como tal por el Ejecutivo Federal para la recepción, abrigo y atención de embarcaciones, compuesto por el recinto portuario y, en su caso, por la zona de desarrollo, así como por accesos y áreas de uso común para la navegación interna y afectas a su funcionamiento; con servicios, terminales e instalaciones, públicos y particulares, para la transferencia de bienes y transbordo de personas entre los modos de transporte que enlaza”.

En general en un puerto pueden distinguirse cuatro tipos de construcciones: obras exteriores o de abrigo, infraestructuras de atraque, infraestructuras de acceso y construcciones o instalaciones complementarias (Rúa, 2006):

-Las obras exteriores son necesarias para proporcionar una superficie abrigada de aguas en las que los buques pueden permanecer. Su importancia, depende del tipo de puerto. Generalmente existen dos tipos de diques de abrigo: los de escollera y los verticales. Los diques de escollera están formados por grandes piedras, naturales o artificiales, funcionan por absorción, las olas rompen contra la escollera cuyas piedras y los espacios que quedan entre ellas absorben la energía liberada, por lo cual estos diques también se conocen como rompeolas. Mientras que los diques verticales funcionan por reflexión, las olas no llegan a romper contra el dique sino que son reflejadas por el mismo.

-Las infraestructuras de atraque permiten la aproximación y amarre de los buques de tal manera que las actividades de carga y descarga pueden llevarse a cabo. Existen 4 tipos diferentes de obras de atraque: muelles, espigones, pantalanes y duques de alba. Los muelles son los parámetros verticales adosados a una explanada horizontal para realización de las operaciones portuarias. Los espigones no tienen la explanada horizontal de operaciones adosadas a los mismos. Los pantalanes son estructuras que permiten el atraque de los buques y sobre ellos sólo hay elementos para el

transporte del producto. Los duques de alba son estructuras aisladas que sirven para dar apoyo lateral y amarre a los buques.

- Las infraestructuras de acceso las forman, desde el frente marítimo, los canales de navegación, debidamente dragados para permitir el acceso de los buques. Desde el frente terrestre, estas infraestructuras las forman las carreteras y vías férreas que permiten la conexión del puerto con su área de influencia.

- Las obras e instalaciones complementarias son almacenes, silos, depósitos, tinglados, edificios de servicios, las grúas y otros equipos de carga y descarga, varaderos, etc.

Funcionalmente los puertos pueden clasificarse en puertos pesqueros, de refugio, industriales, de pasajeros, comerciales, bases militares, deportivos, etc.; a su vez, los puertos comerciales e industriales pueden dividirse de acuerdo al tipo de mercancía que manejan: petrolíferos, de graneles, cementeros, etc. Sin embargo, la mayoría de los puertos comerciales son mixtos debido a que se realizan diferentes funciones y especialidades de carga con muelles especializados de cada una de ellas (Rúa, 2006).

Las mercancías que se manejan principalmente en los puertos comerciales son clasificadas de forma general de la siguiente manera:

Carga a granel. Se define como el conjunto de mercancías en grandes cantidades que se transportan sin envasar o empacar. Estas cargas generalmente son depositadas con cangilones, palas o grúas especializadas (almejas), como granel sólido en tolvas, vagones de ferrocarril o en cajas de camiones y como granel líquido por tuberías en depósitos o en tanques para su almacenamiento (Salgado, 2015).

-Graneles sólidos. Las cargas sólidas a granel incluyen una gran variedad de mercancías: granos agrícolas (trigo, arroz, maíz, sorgo, avena, cebada, centeno,

azúcar, soya, legumbres, entre otros), minerales (ferrosos y no ferrosos, aleaciones ferrosas, arrabio de fierro, chatarra de fierro), fertilizantes, cemento, etc. (Salgado, 2015).

-Graneles líquidos. Son mercancías líquidas que se transportan a granel en buques, por ejemplo el crudo y derivados, gases licuados, productos químicos, productos alimenticios (leche, aceite vegetal), agua potable, etc. En lugar de ser envasados, se bombean dentro de tanques y de buques especializados conocidos como “Buques tanques”. La descarga de estos productos es por tuberías y sistemas de bombeo del buque a los almacenes o viceversa (Salgado, 2015).

Mercancía General: Cualquier mercancía que se envase y transporte en contenedores. Dentro de este tipo de mercancías se encuentran algunas materias primas, productos forestales, siderúrgicos, maquinaria, electrónica, productos químicos, alimenticios y todo tipo de productos manufacturados (Salgado, 2015).

2.3.2. Contaminación del aire en puertos

Los puertos marítimos son importantes centros de actividad económica en el mundo y una de las principales fuentes de contaminación atmosférica. En los puertos se llevan a cabo muchas actividades que causan una serie de impactos ambientales que pueden afectar gravemente las comunidades cercanas a estos y el medio ambiente (Bailey et al., 2004).

El crecimiento del comercio internacional ha dado lugar a un rápido crecimiento en la cantidad de mercancías transportadas por vía marítima. Lo cual a su vez, ha incrementado los impactos ambientales de los puertos. Los puertos marítimos, año con año, liberan grandes cantidades de contaminantes al aire. Contaminantes como partículas, ozono, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre, son liberados al aire en consecuencia de las múltiples actividades que tienen lugar en un puerto. Otros contaminantes procedentes de los puertos son monóxido

de carbono, formaldehído, metales pesados, toxinas e incluso pesticidas utilizados para fumigar (Bailey et al., 2004).

Algunas fuentes específicas que contribuyen a las emisiones de contaminantes a la atmósfera que tienen lugar en los puertos son las siguientes (Bailey et al., 2004):

- Los automóviles y el tráfico de camiones, que dan servicio a diario
- Tráfico por ferrocarril y barcos de mercancías
- Equipos de manipulación y carga
- Almacenamiento y manipulación de materiales a granel
- Abastecimiento de combustible de los buques, camiones, trenes y equipos de manipulación de carga
- Manipulación y reparación de carreteras, carriles, buques, vehículos y equipo

Las anteriores fuentes de contaminantes y otras relacionadas con las actividades que se realizan en los puertos representan un gran porcentaje de la contaminación del aire. Los contaminantes del aire que son emitidos por estas actividades, afectan negativamente a la salud de los trabajadores portuarios, así como los residentes de las comunidades cercanas a los puertos y además contribuyen de manera significativa a los problemas regionales de contaminación del aire (Bailey et al., 2004).

Constantemente los puertos están en crecimiento teniendo como consecuencia un aumento en las cantidades de contaminantes que se emiten a la atmósfera por las actividades realizadas en estos lugares. Los puertos deben tomar las medidas necesarias para reducir, mitigar y controlar las emisiones de contaminantes en la medida de lo posible. Con este objetivo, es importante realizar las estimaciones de las emisiones de los contaminantes emitidos por todas estas actividades.

Debido a la gran cantidad de actividades portuarias que se realizan y que emiten contaminantes a la atmósfera, resulta problemático las estimaciones de estas emisiones, por lo que, frecuentemente los factores de emisión son los únicos métodos disponibles para estimar las emisiones y estos, a su vez, dependen de información específica de cada una de las actividades portuarias (tipo de equipos y maquinaria, edad y potencia de motores, tipo de combustible utilizado, entre otras); por lo tanto, los factores de emisión utilizados para realizar estimaciones de emisiones son una buena aproximación a la realidad, siempre y cuando se sigan las metodologías establecidas y los datos de actividad utilizados sean los apropiados.

3 CASO DE ESTUDIO

El Puerto de Veracruz es el punto de entrada de mercancías provenientes de Europa, Estados Unidos, Canadá y Centro y Sur de América con gran importancia en México; debido principalmente a su situación geográfica que lo coloca en una posición estratégica en el Golfo de México por su cercanía con la capital del país.

3.1 Recinto Portuario de Veracruz

El recinto portuario de Veracruz se encuentra en el municipio de Veracruz del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, México. Se sitúa geográficamente a 19° 12' 30" Latitud N y 96° 08'00" Longitud O.



Figura 3. 1. Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave
Fuente: (INEGI, 2010)

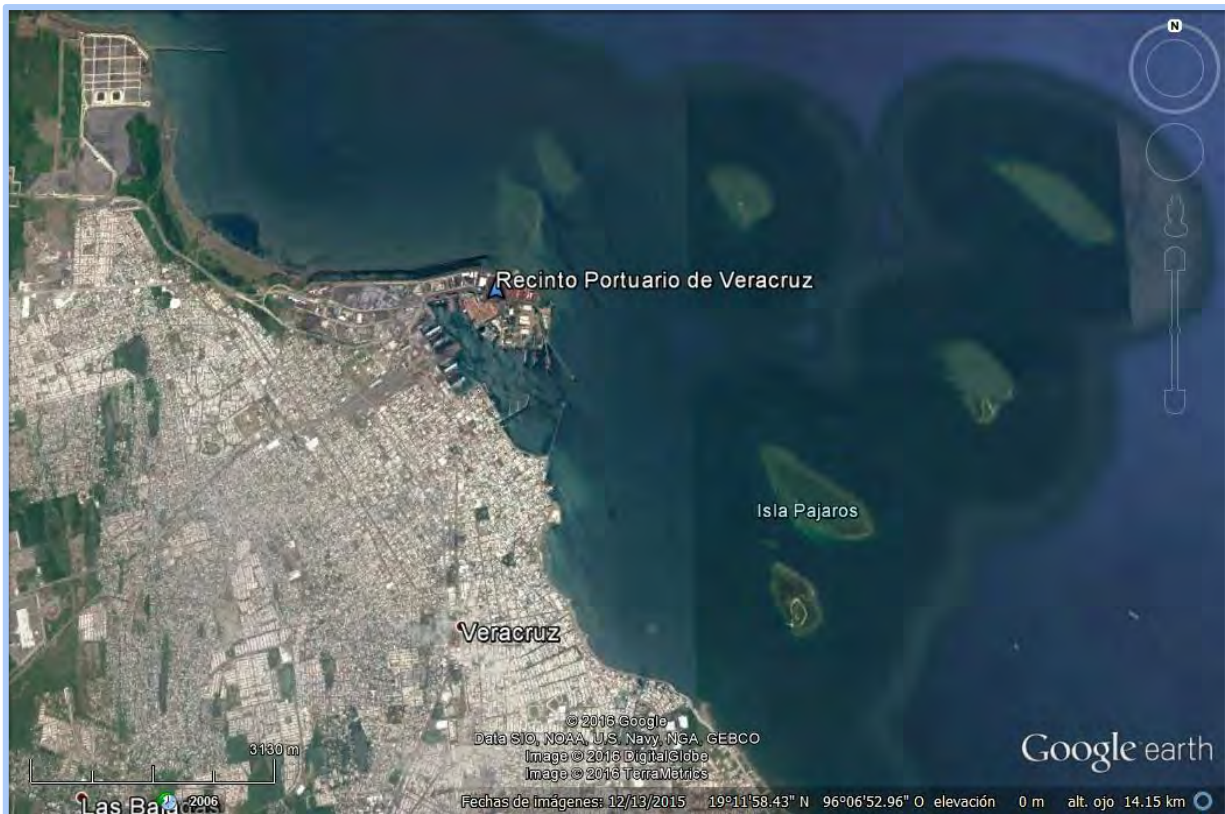


Figura 3. 2. Recinto Portuario de Veracruz
Fuente: (GOOGLE EARTH 2016)

Es un puerto de altura que se encuentra en una bahía artificial protegida por rompeolas al suroeste, al noreste y noroeste, además de una escollera de protección al oeste y un muro interior; la entrada al puerto está rodeada por arrecifes, islas y bajos (APIVER, 2015 c).

El municipio de Veracruz tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media y cálido subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad. Presenta un rango de temperaturas de 24 a 26 °C y un rango de precipitación de 1100-1600 mm (INEGI, 2009).

3.1.1 Infraestructura del Recinto Portuario

De forma generalizada la infraestructura del recinto portuario de Veracruz y su comunidad portuaria está integrada principalmente por cesionarios, prestadores de

servicios, líneas navieras, autoridades portuarias, agentes aduanales, transportistas, instituciones y organismos vinculados con la actividad portuaria. Y se puede dividir como sigue (APIVER, 2015 c):

1) Límites del Puerto.- Se encuentran determinados por el trazo de una línea poligonal imaginaria que une los puntos siguientes: Arranque de la Escollera del Sureste con Isla de Sacrificios, extremos sur de la Isla Pájaros, Isla Verde y Anegada de Adentro, siguiendo con el extremo norte de la Anegada de Adentro y extremo norte del Arrecife de la Galleguilla y finalmente en el extremo del muro de la escollera de protección de la Playa Norte.

2) Zona Marítima Portuaria.- Es la zona de agua que abarca los límites de pilotaje, zona de fondeo y antepuerto, limitada al norte por el extremo norte del muelle marginal de cementos, límite de los cesionarios TNG (Talleres Navales del Golfo S.A de C.V.) y TMV (Terminal Marítima de Veracruz S.A de C.V.), muelle de contenedores, castillo de San Juan de Ulúa y rompeolas del noroeste; al este por el rompeolas del sureste; al sur por la playa comprendida por ese rompeolas y el muro de pescadores; al oeste por los malecones y por muelles.

3) Límite de Pilotaje.- Esta delimitado por un sector de circunferencia cuyo centro está en la boya de recalada o boya de mar, entre la Isla Verde y el límite noroeste de la zona de fondeo.

4) Zona de Fondeo.- Constituye la zona marítima de espera para maniobras de los buques y está conformada por un rectángulo de 6000 hectáreas ubicado al sur de la Isla Verde.

5) Antepuerto.- Es el área de espejo de agua en el espacio interior del puerto, que atenúa el flujo de oleaje y protege de invasión de arena por arrastre litoral. Se encuentra limitado por el muro de pescadores y escollera del sureste.

6) Áreas para Operaciones Portuarias.- Incluyen muelles en el sur, este y oeste, muelle de cementos, contenedores, muelle de la T, muelle de PEMEX y muelle del astillero, áreas de patios, entre vías y almacenes.

En la figura 3.3 se muestra la división por áreas de almacenamiento y cesionadas del Recinto Portuario de Veracruz.

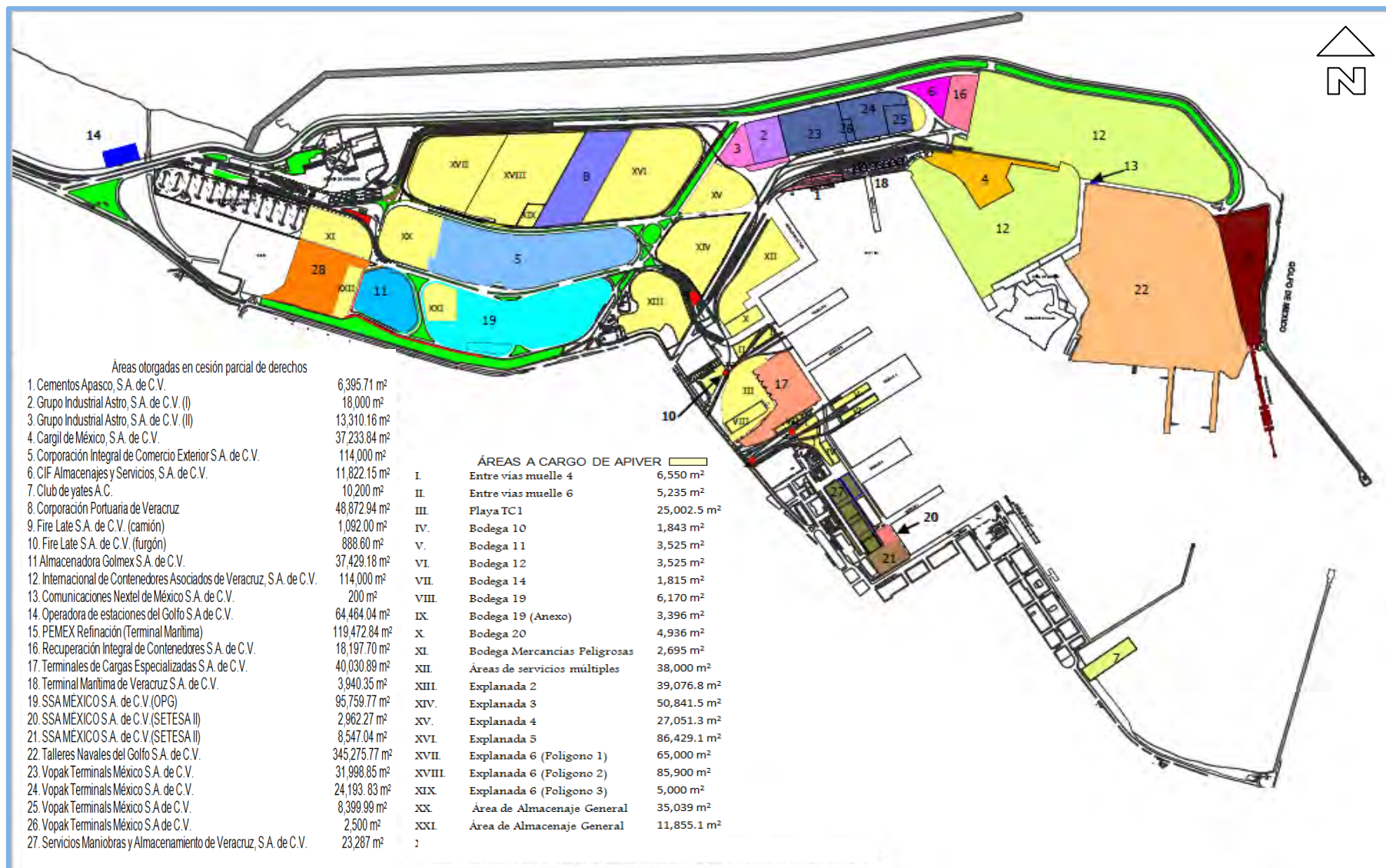


Figura 3. 3. Áreas del Recinto Portuario cesionadas y de almacenamiento
Fuente: (APIVER, 2008)

3.1.2 Descripción General del Recinto Portuario de Veracruz

El recinto portuario de Veracruz es el puerto comercial más importante del Golfo de México, que aprovecha al 100 % su posición geográfica estratégica y sus conexiones con los principales mercados. El recinto portuario de Veracruz manipula de manera significativa los seis segmentos de carga más importantes a nivel nacional (APIVER, 2015 c):

- Carga Contenerizada
- Carga General
- Granel Agrícola
- Granel Mineral
- Vehículos
- Fluidos no petroleros

3.1.2.1 Carga a granel

Dentro de las mercancías que se manejan en el recinto portuario de Veracruz se encuentran las cargas a granel. Se manejan cargas de granel mineral y agrícola, este último, es uno de los tipos de carga que tienen mayor importancia en el recinto, debido a las grandes cantidades que se manejan.

3.1.2.1.1 Granel Agrícola

Este tipo de carga es una de las principales mercancías que se manipula, los productos de granel agrícola que se manejan en el recinto portuario de Veracruz son:

- | | |
|--------------------|-------------------|
| -Maíz | -Arroz |
| -Trigo | -Gluten de maíz |
| -Soya | -Azúcar |
| -Sorgo | -Salvado de trigo |
| -Semilla de canola | -Maíz triturado |

-Grano seco

-Malta

-Cebada

De los productos anteriores, todos excepto el azúcar, son productos de importación.

Las cargas de granel agrícola cuentan con tres sistemas de operación (APIVER, 2015 c):

- 1) Mecanizado: utiliza equipo de succión para la descarga, bandas transportadoras para la traslación y silos para el almacenamiento.
- 2) Mixto: se utilizan grúas del buque para descargar, ya sea como elementos de descarga por medio de almejas o sosteniendo elevadores de cangilones que se conocen como “piernas marinas”, el traslado se realiza por medio de bandas y el almacenamiento en silos especializados.
- 3) Convencional directo: se descarga por medio de almejas con las propias grúas del buque y directamente a unidades de transporte terrestre en camión o ferrocarril, por lo cual se desaloja de manera directa sin ser almacenada en el recinto.

En la Figura 3.4 se muestran los silos de almacenamiento del recinto portuario de Veracruz en donde se almacenan los granos manipulados y en la Figura 3.5 se observan las bandas transportadoras utilizadas para transportar los granos a los silos de almacenamiento.



Figura 3. 4. Silos de almacenamiento de granos en el Recinto Portuario de Veracruz



Figura 3. 5. Bandas transportadoras de granos en el Recinto Portuario de Veracruz

Esta carga es trasladada a nuestro país por vía marítima y terrestre y la mayoría es de importación.

El mercado importante de granel agrícola vía el recinto portuario de Veracruz es dirigido mayoritariamente al Valle de México con 70%, Veracruz con 13%, Puebla con 12% y Guanajuato con 5%. Debido a que, en estos estados se encuentran los mayores centros industriales de alimentos, los cuales utilizan básicamente los granos para el consumo animal o para la elaboración de aceites y grasas comestibles. Los productos principales en el recinto (maíz, trigo y soya) tienen su origen principalmente en Estados Unidos de América con un 88% del mercado y Canadá con 10.4 % (APIVER, 2015 c).

El Valle de México tiene más de la mitad de los destinos de las importaciones de granel agrícola por su cercanía con el recinto portuario de Veracruz, además de que cuenta con dos líneas de ferrocarril: Ferrosur y Kansas City Southern (KCS) que sirven al recinto. El granel agrícola utiliza el ferrocarril como medio de transporte en cerca de un 90% (APIVER, 2015 c).

Este tipo de granel, cuenta con tres terminales o instalaciones especializadas para su manejo, las cuales están operadas por las siguientes cesionarias: Terminal Marítima de Veracruz S.A. de C.V. (TMV), Cargil de México S.A. de C.V. (Cargil), Terminal de

Carga Especializada S.A de C.V. (TCE), Corporación Integral del Comercio Interior S.A de C.V. (CICE), SSA México S.A. de C.V. (SSA), estas últimas dos empresas realizan la descarga de los productos de manera convencional (APIVER, 2016).

En la Tabla 3.1 se muestran las áreas de almacenamiento para el granel agrícola en el recinto:

Tabla 3.1. Áreas de almacenamiento de granel agrícola en el recinto

Almacenes			
Área de almacenamiento	Características	Dimensiones (m)	Área total (m ²)
n.1	16 Silos para granos, bandas transportadoras y tolvas	10.5 diámetro	1580.24
n. 2	Área de almacenaje de granos y torres móviles de succión	50x142	7168.81
n. 3	7 Silos para granel agrícola TMV	23.75 diámetro	3940.35
n. 4	11 Silos para granel agrícola TCE	25 diámetro	5665.00
n. 5	Bodegas de granel agrícola TCE	Diversas	6236.71

Fuente: (APIVER, 2015 c)

En la Figura 3.6 se señala la ubicación de las áreas de almacenamiento de granel agrícola en el recinto indicadas en la Tabla 3.1.

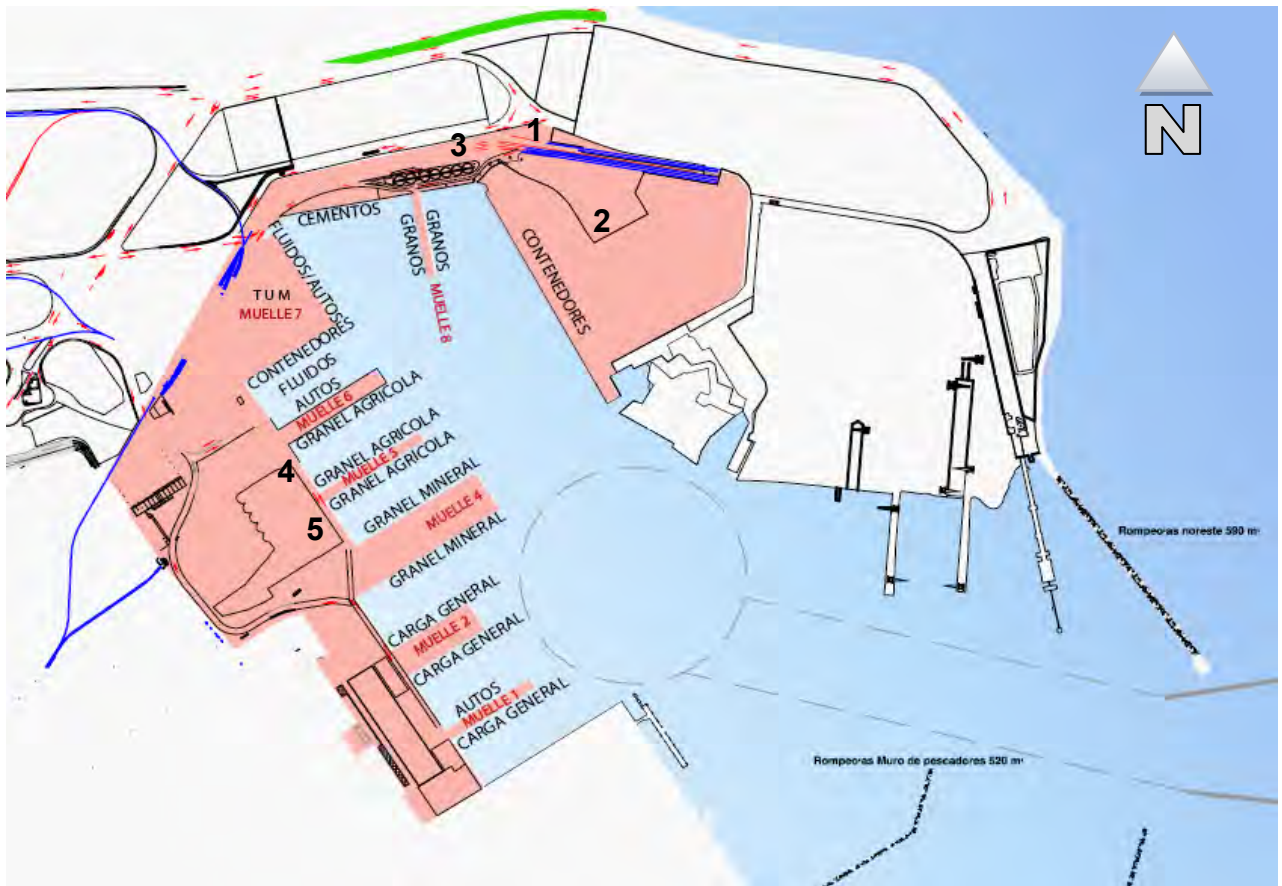


Figura 3. 6. Localización de las áreas de almacenamiento de granel agrícola en el Recinto Portuario.
Fuente: (APIVER, 2008)

3.1.2.1.2. Granel Mineral

Los productos que se manejan en el recinto portuario de Veracruz de granel mineral son los siguientes:

- Coque de petróleo
- Fertilizantes
- Arrabio de fierro
- Chatarra chicharrón
- Briqueta de fierro
- Sulfato Ferroso
- Carbón mineral
- Coque metalúrgico
- Fierro reducido
- Escama de laminación

El granel mineral es en mayoría de importación, debido a que la exportación ha sido esporádica y con volúmenes pequeños que no son significativos, por ejemplo fertilizantes y escama de laminación.

El granel mineral se opera con un sistema convencional, en el cual se utilizan grúas del buque con almejas o pulpos y el traslado se realiza por medio de camiones. Este tipo de carga presenta dos variantes de entrega (APIVER, 2015 c):

- 1) Entrega de manera directa, combinada con traslado al área de almacenamiento, lo cual se da por producto, ya que, generalmente ciertos productos como fertilizantes y la chatarra de fierro, se descargan directamente a camiones para ser retirados del recinto.
- 2) Entrega de manera indirecta, la cual se realiza con el mismo sistema operativo que la directa, aunque tiene la variante de que el equipo de la terminal traslada el producto de los muelles a los patios o almacenes, en los que se guarda la mercancía para que posteriormente sea retirada del recinto.

En la Figura 3.7 se muestra la descarga de productos de granel mineral de los barcos en el Recinto Portuario de Veracruz.

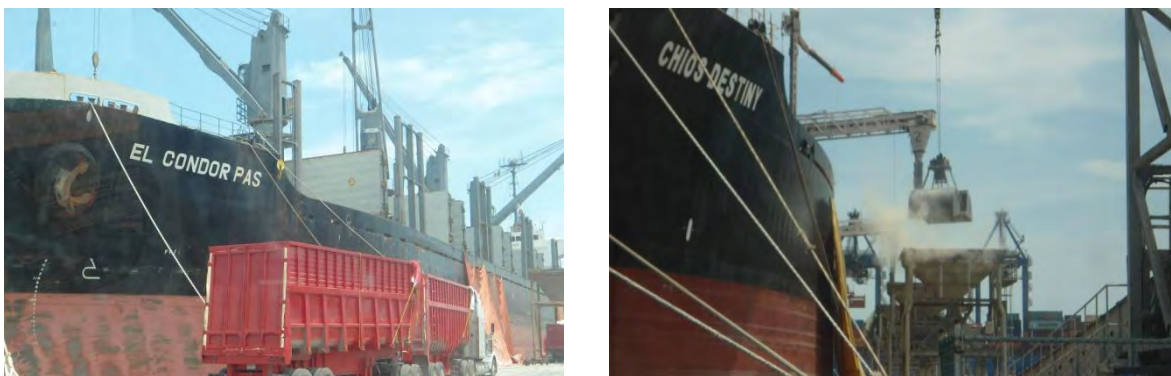


Figura 3. 7. Descarga de granel mineral en el Recinto Portuario de Veracruz

Los destinos de la carga de granel mineral son los siguientes lugares: Veracruz 26%, Distrito Federal 25%, Puebla 23% y Estado de México 7%, en estos estados se ubican los principales centros de la industria cementera y acerera que importan diversos insumos y materias primas por el recinto para la fabricación de diversos productos. Los principales productos que se manejan de granel mineral en el Recinto se importan el 68% de Estados Unidos de América y el 32% de países como Rusia, Ucrania, Lituania, Brasil principalmente (APIVER, 2015 c).

El tráfico de granel mineral se maneja en 92% en transporte terrestre y el 8% en transporte ferroviario, este último, cuenta con dos líneas que dan servicio al Recinto Portuario: Ferrosur y KCS (APIVER, 2015 c).

Para la atención de este tipo de carga el recinto cuenta con 1 terminal especializada operada por Cementos Apasco, S.A. de C.V.(APASCO) y dos instalaciones para el manejo de granel mineral, las cuales están operadas por SEPSA S.A. de C.V.(SEPSA) y Corporación Integral de Comercio Exterior S.A. de C.V. (CICE) (APIVER, 2016).

La Tabla 3.2 muestra las áreas de almacenamiento para granel mineral en el recinto.

Tabla 3.2. Áreas de almacenamiento de granel mineral en el Recinto

Almacenes			
Área de almacenamiento	Características	Dimensiones (m)	Área total (m ²)
n.1	Tolvas y dos silos para Coque de petróleo APASCO	21.25 x 61.5	1313.4
n.2	Patios granel mineral SEPSA	Pavimento de concreto asfáltico y/o hidráulico	47,227.99

Fuente: (APIVER, 2015 c)

En la Figura 3.8 se muestra la ubicación de las áreas de almacenamiento del granel mineral en el recinto, indicadas en el Tabla 3.2:

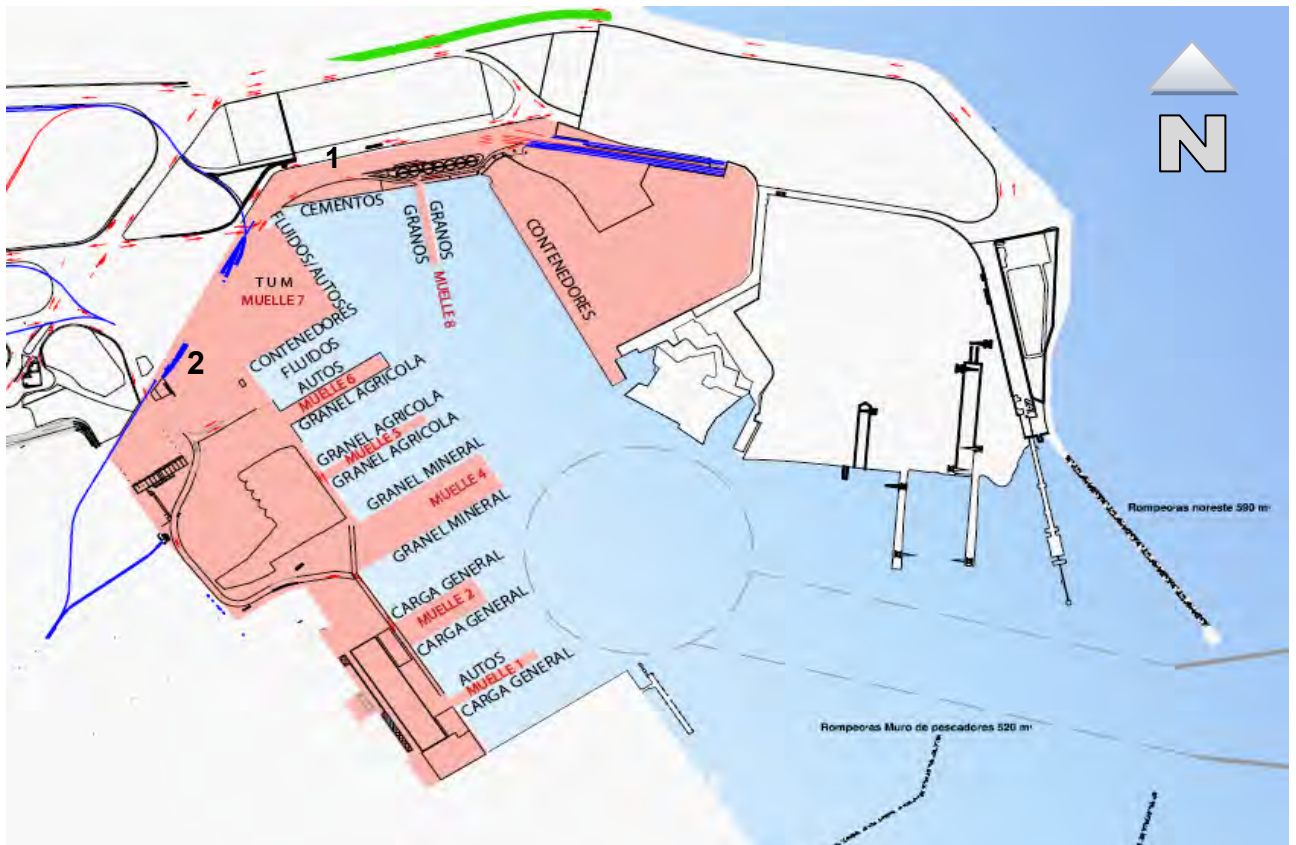


Figura3. 8. Localización de las áreas de almacenamiento de granel mineral en el Recinto Portuario.

Fuente: (APIVER, 2008)

3.1.3. Proyecto Puertos Verdes

Un Puerto Verde es aquel puerto en el que se llevan a cabo diversas actividades tomando en consideración ámbitos económicos, ambientales y sociales. De manera sostenible, realizando sus actividades mientras se tiene cuidado de causar el mínimo impacto ambiental posible, aportando medidas de mejora y control para la calidad de aire, agua y residuos (PTC, 2015).

La política de Puerto Verde incluye diversos enfoques para reducir los impactos negativos de las operaciones portuarias. La política incluye 5 principios de guía (The Green port, 2016):

- 1) Proteger a la comunidad de los impactos ambientales perjudiciales de las operaciones portuarias.
- 2) Distinguir al puerto como líder en cumplimiento y administración ambiental.
- 3) Promover la sostenibilidad.
- 4) Emplear la mejor tecnología disponible para evitar o reducir los impactos ambientales.
- 5) Involucrar y educar a la comunidad.

La política de Puerto Verde incluye 6 elementos básicos del programa:

- 1) Vida Silvestre - Proteger, mantener o restaurar los ecosistemas acuáticos y los hábitats marinos.
- 2) Aire - Reducir las emisiones nocivas al aire provenientes de las actividades portuarias.
- 3) Agua - Mejorar la calidad de las aguas de los puertos.
- 4) Suelos / sedimentos - Eliminar, tratar o realizar un adecuado reúso de los suelos contaminados y sedimentos en el puerto.
- 5) Participación de la Comunidad - Interactuar y educar con la comunidad con respecto a las operaciones portuarias y programas ambientales.
- 6) Sostenibilidad - Implementar prácticas sostenibles en el diseño y la construcción, las operaciones y las prácticas administrativas en todo el puerto.

Un proyecto verde incluye una administración eficiente y racional de los bienes y servicios ambientales en los puertos, lo cual implica el bienestar de la población aledaña al puerto.

El recinto portuario de Veracruz, está en vías para obtener el título de Puerto Verde y con esto busca obtener beneficios tanto ambientales como económicos y de esta manera incrementar su competitividad a nivel internacional (Tami, 2013), (STC, 2016).

4 METODOLOGÍA

4.1. Emisiones fugitivas de partículas por manejo de granel agrícola

Las principales emisiones fugitivas de contaminantes a la atmósfera generadas por la manipulación y almacenamiento de granos son partículas. En el recinto portuario de Veracruz se manejan grandes cantidades de granel agrícola, las cuales generan emisiones fugitivas de partículas al medio ambiente.

El granel agrícola llega al recinto portuario de Veracruz por medio de barcos, donde es descargado y trasladado a elevadores de granos para ser llevado a silos de almacenamiento, o descargado del barco para ser directamente retirado del recinto mediante camiones o ferrocarriles. La descarga y equipos utilizados para el manejo de granel agrícola en el recinto depende de las cesionarias encargadas de los distintos tipos de granos que conforman el granel agrícola, así como del proceso de retirar el grano del recinto, durante estas operaciones se generan las emisiones fugitivas de partículas (PST, PM₁₀ y PM_{2.5}) a la atmósfera.

La estimación de las emisiones fugitivas de partículas por la manipulación y almacenamiento de granel agrícola en el recinto portuario de Veracruz se realizó utilizando la metodología de factores de emisión del AP-42 de la USEPA, empleando la ecuación de la generación de partículas fugitivas:

$$E=Q \times FE \dots\dots\dots(1)$$

E= Emisión fugitiva de partículas (kg/mes)

FE= Factor de emisión de partículas (kg por Mg de material manejado)

Q= Cantidad de material manejado (Mg/mes)

La cantidad de material manejado cada mes durante el periodo de estudio, fue proporcionada por la Administración Portuaria Integral de Veracruz (APIVER), la cual tiene un convenio de colaboración en materia ambiental con la Sección de

Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (SCA-CCA-UNAM).

El factor de emisión para cada grano se tomó del AP-42 de la USEPA de la sección 9.9.1 Elevadores de granos y procesos, en esta sección se encuentra una tabla de factores de emisión para distintas actividades de actividades de manipulación de grano, el FE depende de la fuente de emisión y representa la emisión generada para un sólo punto del manejo del granel agrícola, por lo cual, para realizar la estimación se seleccionaron 4 actividades de manipulación del grano (recepción, manipulación, almacenamiento y envío del grano), de esta manera se aplica el FE de emisión correspondiente para cada una de las 4 actividades de los 12 granos analizados, dependiendo del equipo y transporte utilizado en cada caso.

En la Figura 4.1 se observan muestras de granos a granel del recinto portuario de Veracruz, donde se puede apreciar que hay partículas finas en el fondo de la bolsa de la muestra.



Figura 4. 1. Muestras de granos a granel del Recinto Portuario de Veracruz

4.2. Emisiones fugitivas de partículas por manejo de granel mineral

En el recinto portuario de Veracruz también se maneja granel mineral además del granel agrícola, al igual que este último, el manejo y almacenamiento del granel mineral genera grandes cantidades de emisiones fugitivas de partículas al medio ambiente.

El material evaluado para el presente trabajo, fue el coque de petróleo, durante los años 2014 y 2015, ya que es de los materiales con mayores cantidades que se manejaron en el recinto, sólo después de fertilizantes, por lo cual representa cantidades de emisiones fugitivas de partículas altas. Además de que es almacenado en el recinto portuario de Veracruz en un área abierta, lo cual implica que puedan existir mayores emisiones fugitivas de partículas para este material. Actualmente en el recinto portuario el coque de petróleo es rociado con una mezcla de agua con celulosa con un equipo llamado “Dust Boss”, el cual es utilizado principalmente en sus áreas de almacenamiento para disminuir su dispersión (DTC, 2013).

En la Figura 4.2 se observa una muestra de coque de petróleo manipulado en el recinto portuario de Veracruz.



Figura 4. 2. Muestra de coque de petróleo del recinto portuario de Veracruz

Los procedimientos desarrollados por la USEPA, fueron implementados para estimar las emisiones fugitivas potenciales de partículas para la manipulación de materiales y actividades de almacenamiento, incluyendo:

- Carga del material en la pila de almacenamiento
- Equipo de tráfico cerca de la pila de almacenamiento
- La erosión eólica en las pilas de almacenamiento
- Carga del material para envío

Para este estudio, se estimaron las emisiones fugitivas de partículas emitidas por el manejo de coque de petróleo, para operaciones de carga y descarga en las pilas de almacenamiento de este material. Los factores importantes para estimar las emisiones fugitivas de partículas por estas operaciones de manejo de granel son: el contenido de humedad, tamaño de partícula del material y la velocidad del viento del lugar.

A diferencia de la estimación de partículas por el manejo de material a granel agrícola la ecuación en la cual los estudios para la elaboración de factor de emisión manejan una cantidad puntual para los diferentes procesos de manejo del material, para el granel mineral no existe como tal un valor de factor de emisión sino una ecuación para estimar este factor que incluye parámetros de corrección como son (velocidad del viento y porcentaje de humedad del material).

La ecuación para estimar las emisiones fugitivas de partículas por el manejo de coque de petróleo, es la ecuación (1) presentada para la estimación de emisiones de partículas fugitivas por el manejo de granel agrícola:

$$E=Q \times FE \dots \dots \dots (1)$$

E= Emisión fugitiva de partículas (kg/mes)

FE= Factor de emisión de partículas (kg por Mg de material manejado)

Q= Cantidad de material manejado (Mg/mes)

La ecuación para estimar el FE aplicable para la ecuación (1), está dada en la sección 13.2.4 de la AP-42, y es la siguiente:

$$FE = k(0.0016) \frac{U^{1.3}}{\frac{2.2}{M^{1.4}}}$$

FE= Factor de emisión (kg/Mg)

K*= Multiplicador del tamaño de partícula (Tabla 4.1)

U= Velocidad media del viento (m/s)

M= Contenido de humedad del material (%)

*El multiplicador de tamaño de partícula representa la contribución de emisiones de partículas dependiendo de su tamaño.

El multiplicador de tamaño de partícula varía con el rango de tamaño de partícula aerodinámico como se indica en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1. Multiplicador del tamaño de partícula

Multiplicador del tamaño de partícula (k)				
< 30µm	<15µm	<10µm	<5µm	<2.5 µm
0.74	0.48	0.35	0.20	0.053

Fuente: (USEPA, 2015 f)

Para este trabajo se estimaron las emisiones fugitivas de partículas para cinco tamaños diferentes, los cuales se encuentran indicados en la Tabla 4.1. Debido a como se observa en la Figura 4.2, las partículas de coque de petróleo incluyen diferentes tamaños.

Al igual que para el caso del granel agrícola, las cantidades manejadas al mes durante el 2014 y 2015 de coque de petróleo, fueron proporcionadas por la Administración Portuaria Integral de Veracruz (APIVER).

El porcentaje de humedad del coque de petróleo que se utilizó para realizar las estimaciones fue de 0.403 %, este valor es el promedio de la determinación del

porcentaje de humedad de tres muestras de coque de petróleo que fueron proporcionadas por la Administración Portuaria Integral de Veracruz, el análisis se desarrolló de acuerdo con la norma ASTM D3173, en el laboratorio de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Química de la UNAM (Salgado, 2015).

Los datos de velocidad del viento necesarios para la estimación, fueron proporcionados por la Administración Portuaria Integral de Veracruz, de su Centro de Control Marítimo, el cual cuenta con un sistema de sensores que proporcionan información meteorológica del recinto portuario de Veracruz, se utilizaron promedios mensuales de la velocidad de viento de los años 2014 y 2015.

A continuación, a manera de ejemplo, se presenta la base de cálculo de las estimaciones de emisiones fugitivas de partículas por el manejo del coque de petróleo en el recinto, durante operaciones de carga y descarga del material en pilas de almacenamiento, para el mes de enero del 2014:

Base de cálculo ejemplo:

Enero 2014

Velocidad media del viento: 13.22 km/h (3.67 m/s)

$$13.22 \frac{\text{km}}{\text{h}} \left(\frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \right) \left(\frac{1\text{h}}{60\text{min}} \right) \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}} \right) = 3.67 \text{ m/s}$$

Porcentaje de humedad del coque de petróleo: 0.403%

Cantidad manejada de coque de petróleo: 35997 Mg/mes

Multiplicador de tamaño de partícula

< 30µm	<15µm	<10µm	<5µm	<2.5 µm
0.74	0.48	0.35	0.20	0.053

- Para partículas de diámetro aerodinámico <30 µm

$$FE=0.74(0.0016) \frac{\left(\frac{3.67}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{0.403}{2}\right)^{1.4}}=0.022 \text{ kg/Mg}$$

$$E=35997 \text{ Mg/mes} \times 0.022 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}}=791.93 \text{ kg/mes}$$

- Para partículas de diámetro aerodinámico <15 µm

$$FE=0.48(0.0016) \frac{\left(\frac{3.67}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{0.403}{2}\right)^{1.4}}=0.014 \text{ kg/Mg}$$

$$E=35997 \text{ Mg/mes} \times 0.014 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}}=503.96 \text{ kg/mes}$$

- Para partículas de diámetro aerodinámico <10µm

$$FE=0.35(0.0016) \frac{\left(\frac{3.67}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{0.403}{2}\right)^{1.4}}=0.010 \text{ kg/Mg}$$

$$E=35997 \text{ Mg/mes} \times 0.010 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}}=359.97 \text{ kg/mes}$$

- Para partículas de diámetro aerodinámico <5 µm

$$FE=0.20(0.0016) \frac{\left(\frac{3.67}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{0.403}{2}\right)^{1.4}}=0.006 \text{ kg/Mg}$$

$$E=35997 \text{ Mg/mes} \times 0.006 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}}=215.98 \text{ kg/mes}$$

- Para partículas de diámetro aerodinámico <2.5 µm

$$FE=0.053(0.0016) \frac{\left(\frac{3.67}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{0.403}{2}\right)^{1.4}}=0.002 \text{ kg/Mg}$$

$$E=35997 \text{ Mg/mes} \times 0.002 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}}=71.99 \text{ kg/mes}$$

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis del manejo de materiales de granel agrícola y mineral durante 2014 y 2015.

En el recinto portuario de Veracruz, durante el año 2014 se manejó un total de 19, 798, 739 toneladas de carga, mientras en el año 2015 un total de 21, 424, 788 toneladas, estas toneladas se dividen en los seis segmentos de carga de la siguiente manera (Figura 5.1 y 5.2):

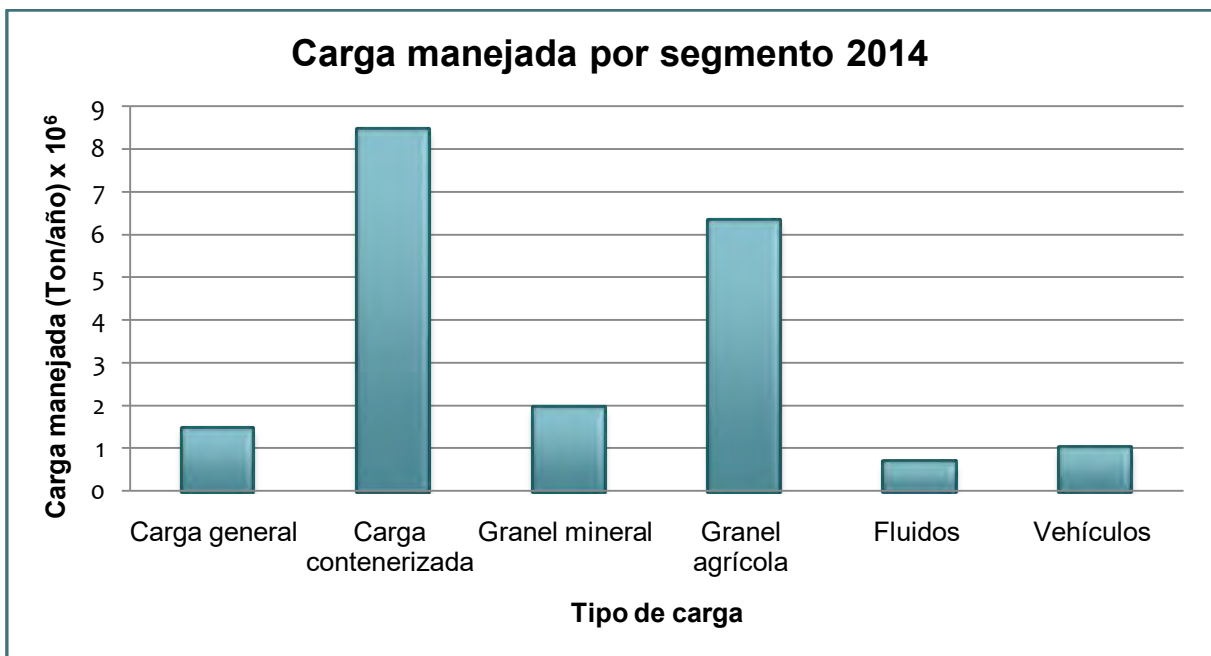


Figura 5. 1. Carga manejada por segmento en el Recinto Portuario de Veracruz en el año 2014

Fuente: (APIVER, 2015 a)

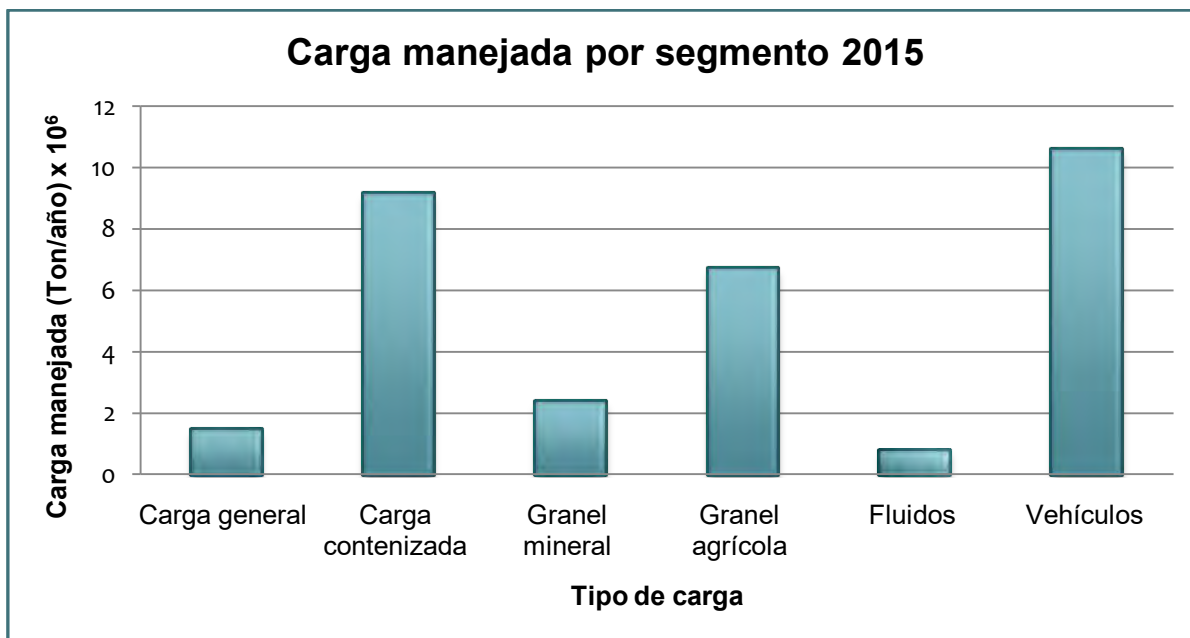


Figura 5. 2. Carga manejada por segmento en el Recinto Portuario de Veracruz en el año 2015

Fuente: (APIVER, 2015 a)

En las Figuras 5.1 y 5.2, se puede observar que el granel agrícola es uno de los materiales que más se maneja, sólo después de la carga contenerizada, en el año 2014, mientras que el granel mineral es el tercer material más manejado en el recinto portuario de Veracruz, en este año.

Los productos de granel agrícola que se manejaron en los años 2014 y 2015 fueron:

- | | |
|--------------------|-------------------|
| -Maíz | -Azúcar |
| -Trigo | -Salvado de trigo |
| -Soya | -Maíz triturado |
| -Sorgo | -Grano seco |
| -Semilla de canola | -Cebada |
| -Arroz | -Malta |
| -Gluten de maíz | |

Durante el año del 2014 se manejaron 6, 304, 277 toneladas de granel agrícola y en el año 2015 esta cantidad aumentó ya que se manejaron 6, 698, 472 toneladas. Estas toneladas se dividen de la siguiente manera entre los productos de granel agrícola (Figura 5.3 y 5.4):

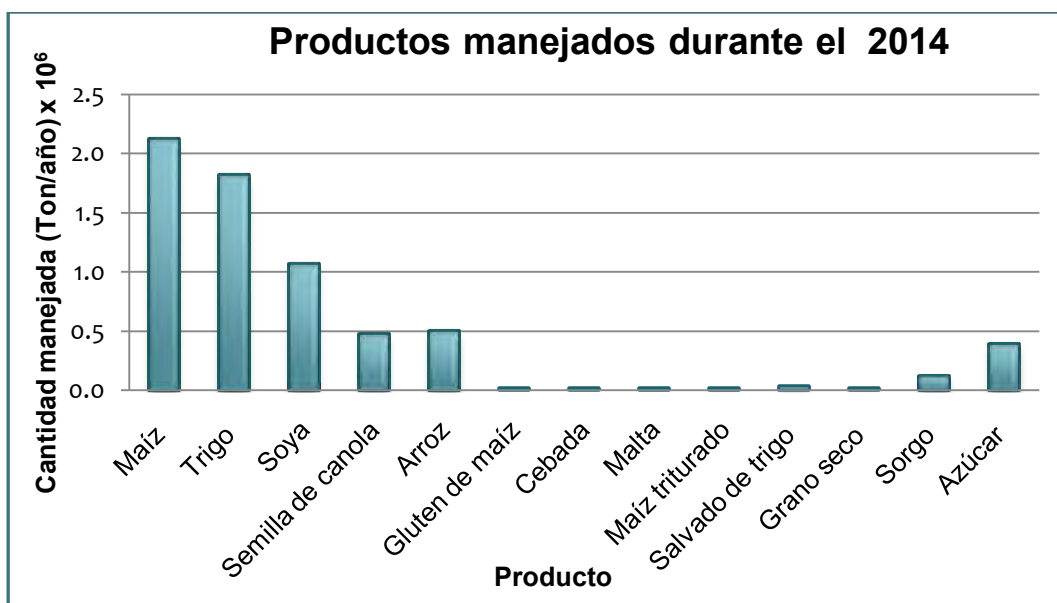


Figura 5. 3. Productos de granel agrícola manejados durante el 2014 en el Recinto Portuario de Veracruz
Fuente: (APIVER, 2015 a)

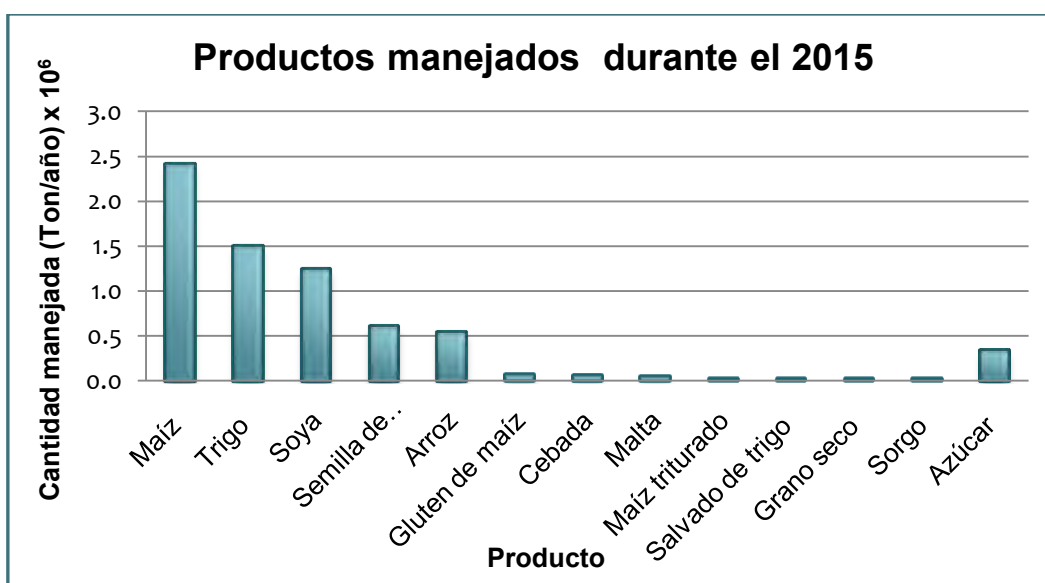


Figura 5. 4. Productos de granel agrícola manejados durante el 2015 en el Recinto Portuario de Veracruz
Fuente: (APIVER, 2015 a)

En las Figuras 5.3 y 5.4, se observa que el maíz es el producto que se maneja en mayor cantidad, tanto en el año 2014 y 2015, seguido por el trigo y soya.

Los productos de granel mineral que se manejaron en los años 2014 y 2015 son los siguientes:

- Coque de petróleo
- Fertilizantes
- Arrabio de fierro
- Chatarra chicharrón
- Briqueta de fierro
- Sulfato Ferroso
- Carbón mineral
- Coque metalúrgico
- Fierro reducido
- Escama de laminación

En el año 2014 se manejaron 1,946, 650 toneladas de granel mineral y en el año 2015 hubo un incremento de este segmento, ya que se manejaron 2, 334, 323 toneladas. Estas toneladas se dividen de la siguiente manera entre los diferentes productos manejados (Figura 5.5 y 5.6):

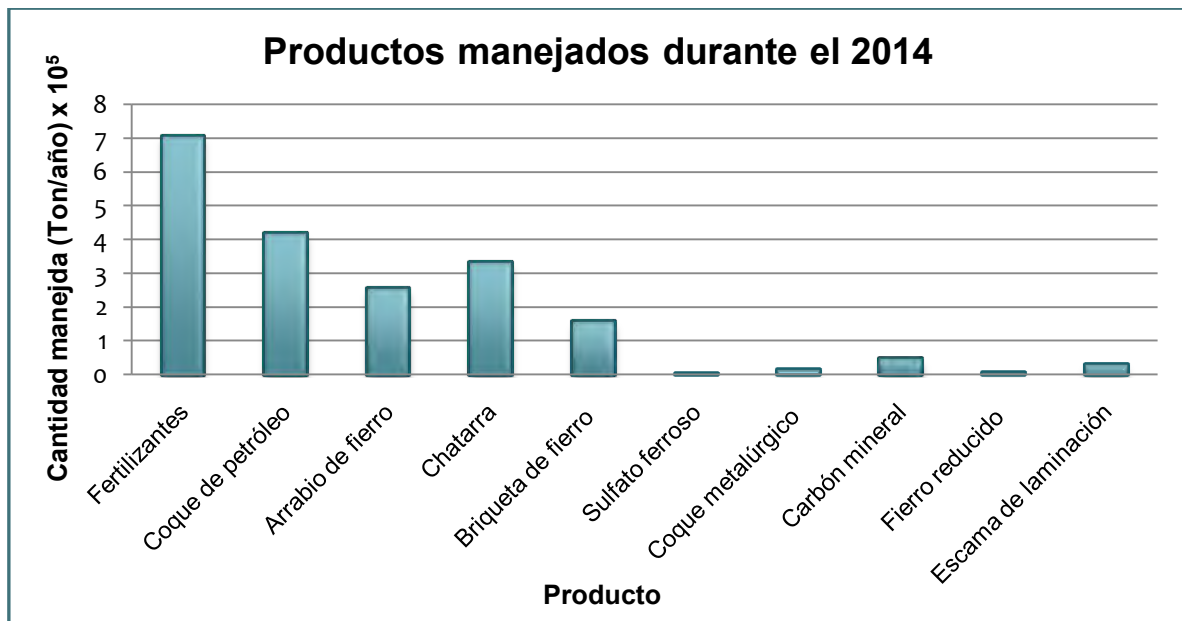


Figura 5. 5. Productos de granel mineral manejados durante el 2014 en el Recinto Portuario de Veracruz
Fuente: (APIVER, 2015 a)

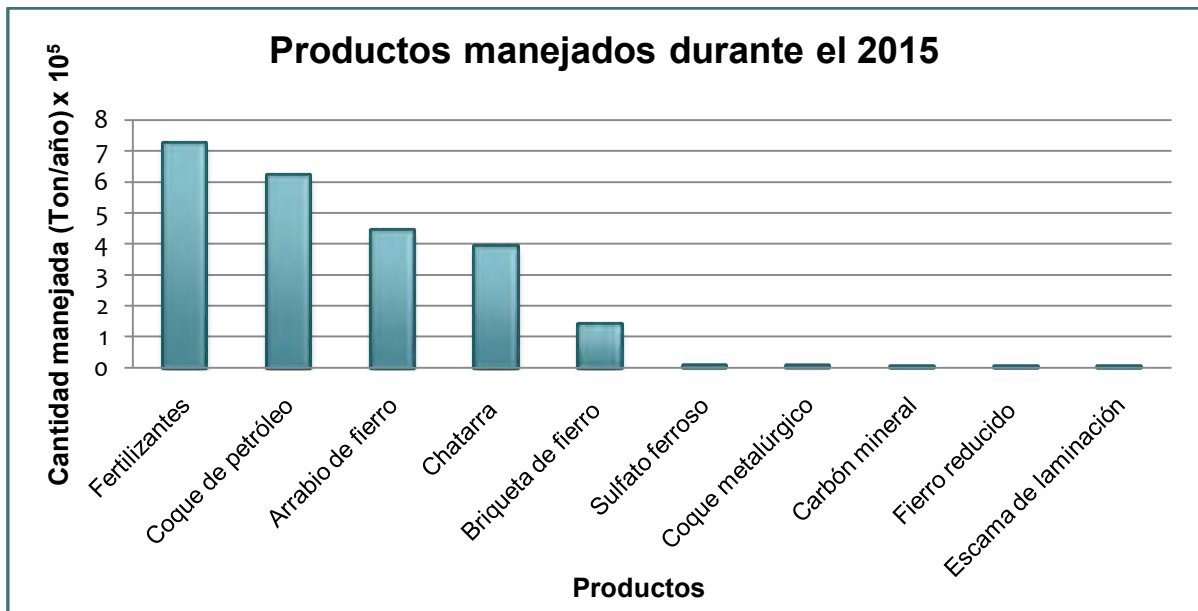


Figura 5. 6. Productos de granel mineral manejados durante el 2015 en el Recinto Portuario de Veracruz
Fuente: (APIVER, 2015 a)

En las Figuras 5.5 y 5.6 se observa que los fertilizantes son el material más manejado en el recinto portuario de Veracruz y el coque de petróleo es el segundo material que más se manejó durante el 2014 y 2015. En el 2015 se manejaron más de 600 mil toneladas de este último material, mientras que el 2014 tuvo un manejo menor con una cifra de poco más de 400 mil toneladas.

5.2. Resultados de la estimación de emisiones fugitivas de partículas emitidas por el manejo de granel agrícola

Base de cálculo

A continuación se muestra a manera de ejemplo la base de cálculo para la estimación de emisiones de partículas por manejo de granel agrícola para el caso del maíz en el mes de enero:

Base de cálculo ejemplo maíz (enero 2014):

Cantidad manejada de maíz: 175,924 Mg/mes

Recepción del maíz de barco

Factor de emisión para emisiones de partículas sin control

Partículas (kg/Mg)	PM ₁₀ (kg/Mg)	PM _{2.5} (kg/Mg)
0.075	0.019	0.0025

$$E_{\text{Partículas}} = 0.075 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 13194.30 \text{ kg/mes}$$

$$E_{\text{PM}_{10}} = 0.019 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 3342.56 \text{ kg/mes}$$

$$E_{\text{PM}_{2.5}} = 0.0025 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 439.81 \text{ kg/mes}$$

Manipulación del maíz (transferencia del grano)

FE para emisiones de partículas sin control

Partículas (kg/Mg)	PM ₁₀ (kg/Mg)	PM _{2.5} (kg/Mg)
0.0305	0.017	0.0029

$$E_{\text{Partículas}} = 0.0305 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 5365.68 \text{ kg/mes}$$

$$E_{\text{PM}_{10}} = 0.017 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 2990.71 \text{ kg/mes}$$

$$E_{\text{PM}_{2.5}} = 0.0029 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 510.18 \text{ kg/mes}$$

Contenedor de almacenamiento

Factor de emisión para emisiones de partículas sin control

Partículas (kg/Mg)	PM₁₀ (kg/Mg)	PM_{2.5} (kg/Mg)
0.0125	0.00315	0.00055

$$E_{\text{Partículas}} = 0.0125 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 2199.05 \text{ kg/mes}$$

$$E_{\text{PM}_{10}} = 0.00315 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 554.16 \text{ kg/mes}$$

$$E_{\text{PM}_{2.5}} = 0.00055 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 96.76 \text{ kg/mes}$$

Envío del grano en ferrocarril

Factor de emisión para emisiones de partículas sin control

Partículas (kg/Mg)	PM₁₀ (kg/Mg)	PM_{2.5} (kg/Mg)
0.0135	0.0011	0.000185

$$E_{\text{Partículas}} = 0.0135 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 2374.97 \text{ kg/mes}$$

$$E_{\text{PM}_{10}} = 0.0011 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 193.52 \text{ kg/mes}$$

$$E_{\text{PM}_{2.5}} = 0.000185 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times 175924 \text{ Mg/mes} = 32.55 \text{ kg/mes}$$

Las emisiones totales de partículas son contribuciones de cada una de las 4 actividades analizadas anteriormente, por lo cual, para calcular el total de partículas, PM₁₀ y PM_{2.5} generadas por la manipulación del granel agrícola, se sumaron las contribuciones generadas por cada actividad realizada.

Emisiones totales de partículas de maíz

Partículas (kg/mes)	PM ₁₀ (kg/mes)	PM _{2.5} (kg/mes)
23134.01	7080.94	1079.29

En la Tabla 5.1 se muestran los resultados obtenidos a partir de la ecuación (1) de las emisiones fugitivas de partículas, PM₁₀ y PM_{2.5} para el mes de enero emitidas por 4 actividades diferentes (recepción, manipulación, almacenamiento, envío) de manejo de granel agrícola durante los años 2014 y 2015, para cada material manipulado. Los resultados de todos los meses de los dos años analizados se muestran en los gráficos en las figuras que se muestran en este capítulo y en el Anexo 1. En los casos en que no se presentan las cantidades manejadas y emisiones, es porque no hubo manejo del material durante ese mes.

Tabla 5. 1. Emisiones fugitivas de partículas emitidas por el manejo de granel agrícola en enero del 2014 y 2015.

Material	Cantidad manejada (Mg)		Actividad	Emisión (kg/mes)			Total de emisiones (Kg/mes)			
	2014	2015			2014	2015		2014	2015	
Arroz	47670	19393	Recepción del barco	Partículas	3575.2	1454.5	Partículas	7674.87	2	
				PM ₁₀	905.7	368.5				
				PM _{2.5}	119.2	48.5				
			Manipulación del grano	Partículas	1453.9	591.5	PM ₁₀	2557.5	4	1040.
				PM ₁₀	810.4	329.7				
				PM _{2.5}	138.2	56.2				
			Contenedor de almacenamiento	Partículas	595.9	242.4	PM _{2.5}	400.4	162.9	
				PM ₁₀	150.2	61.1				
				PM _{2.5}	26.2	10.7				
			Envío del grano a camión	Partículas	2049.8	834.0				
				PM ₁₀	691.2	281.2				
				PM _{2.5}	116.7	47.5				

Capítulo 5. Resultados y Discusión

Material	Cantidad manejada (Mg)		Actividad	Emisión (kg/mes)			Total de emisiones (Kg/mes)		
	2014	2015			2014	2015		2014	2015
Maíz	175924	164536	Recepción del barco	Partículas	13194.3	12340.2	Partículas	23134.1	21636.5
				PM ₁₀	3342.6	3126.2			
				PM _{2.5}	439.8	411.3			
			Manipulación del grano	Partículas	5365.7	5018.4	PM ₁₀	7080.9	6622.6
				PM ₁₀	2990.7	2797.1			
				PM _{2.5}	510.2	477.2			
			Contenedor de almacenamiento	Partículas	2199.1	2056.7	PM _{2.5}	1079.3	1009.4
				PM ₁₀	554.2	518.3			
				PM _{2.5}	96.8	90.5			
			Envío del grano a ferrocarril	Partículas	2375.0	2221.2	PM _{2.5}	1079.3	1009.4
				PM ₁₀	193.5	181.0			
				PM _{2.5}	32.6	30.4			
Semilla de canola	44911	67008	Recepción del barco	Partículas	3368.3	5025.6	Partículas	5905.8	8811.6
				PM ₁₀	853.3	1273.2			
				PM _{2.5}	112.3	167.5			
			Manipulación del grano	Partículas	1369.8	2043.7	PM ₁₀	1807.7	2697.1
				PM ₁₀	763.5	1139.1			
				PM _{2.5}	130.2	194.3			
			Contenedor de almacenamiento	Partículas	561.4	837.6	PM _{2.5}	275.5	411.1
				PM ₁₀	141.5	211.1			
				PM _{2.5}	24.7	36.85			
			Envío del grano a ferrocarril	Partículas	606.3	904.6	PM _{2.5}	275.5	411.1
				PM ₁₀	49.4	73.7			
				PM _{2.5}	8.3	12.4			
Sorgo	108263	---	Recepción del barco	Partículas	8119.7	--	Partículas	7674.8	--
				PM ₁₀	2057.0	--			
				PM _{2.5}	270.7	--			
			Manipulación del grano	Partículas	3302.0	--	PM ₁₀	2557.5	--
				PM ₁₀	1840.5	--			
				PM _{2.5}	314.0	--			
			Contenedor de almacenamiento	Partículas	1353.3	--	PM _{2.5}	400.4	--
				PM ₁₀	341.0	--			
				PM _{2.5}	59.5	--			
			Envío del grano a ferrocarril	Partículas	1461.6	--	PM _{2.5}	400.4	--
				PM ₁₀	119.1	--			
				PM _{2.5}	20.0	--			

Capítulo 5. Resultados y Discusión

Material	Cantidad manejada (Mg)		Actividad	Emisión (kg/mes)			Total de emisiones (Kg/mes)		
	2014	2015			2014	2015		2014	2015
Soya	10998	142282	Recepción del barco	Partículas	824.9	10671.2	Partículas	1446.2	1871 0.1
				PM ₁₀	209.0	2703.4			
				PM _{2.5}	27.5	355.7			
			Manipulación del grano	Partículas	335.4	4339.6	PM ₁₀	442.7	5726. 9
				PM ₁₀	187.0	2418.8			
				PM _{2.5}	31.9	412.6			
			Contenedor de almacenamiento	Partículas	137.5	1778.5	PM _{2.5}	67.5	872.9
				PM ₁₀	34.6	448.2			
				PM _{2.5}	6.1	78.3			
			Envío del grano a ferrocarril	Partículas	148.5	1920.8	PM _{2.5}	67.5	872.9
				PM ₁₀	12.1	156.5			
				PM _{2.5}	2.0	26.3			
Trigo	22000	78427	Recepción del barco	Partículas	1650.0	5882.0	Partículas	2893.0	1031 3.2
				PM ₁₀	418.0	1490.1			
				PM _{2.5}	55	196.1			
			Manipulación del grano	Partículas	671	2392.0	PM ₁₀	885.5	3156. 7
				PM ₁₀	374.0	1333.3			
				PM _{2.5}	63.80	227.4			
			Contenedor de almacenamiento	Partículas	275	980.3	PM _{2.5}	135	481.2
				PM ₁₀	69.3	247.1			
				PM _{2.5}	12.1	43.1			
			Envío del grano a ferrocarril	Partículas	297.0	1058.8	PM _{2.5}	135	481.2
				PM ₁₀	24.2	86.3			
				PM _{2.5}	4.1	14.5			

A continuación en las siguientes figuras se presentan las emisiones fugitivas de partículas por las actividades de manejo de arroz, como ejemplo de los granos que se envían fuera del recinto por medio de camión y del maíz como ejemplo de los granos enviados fuera del recinto por medio de ferrocarril durante los años 2014 y 2015. Las figuras de las emisiones de partículas de todos los demás granos manejados en el recinto se presentan en el Anexo 1.

En las Figuras 5.7 a la 5.12, se presentan las emisiones fugitivas de partículas (partículas, PM₁₀ y PM_{2.5}) por las actividades (recepción, manipulación, almacenamiento y envío) de manejo de arroz durante los años 2014 y 2015.

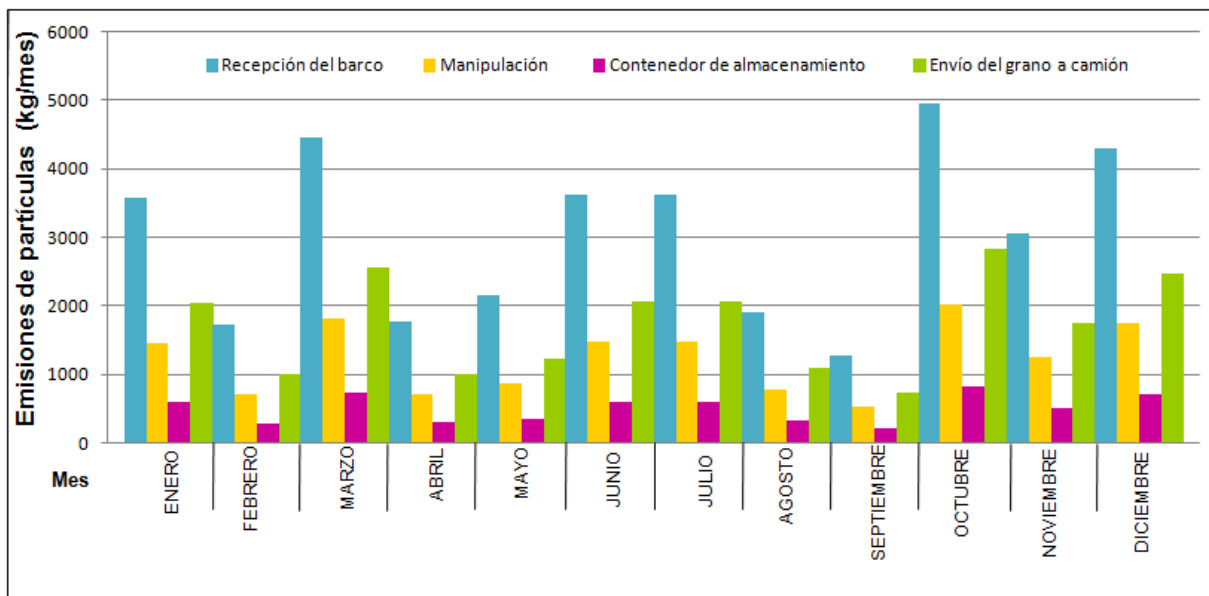


Figura 5. 7. Emisiones de partículas por actividades de manejo de arroz en el 2014

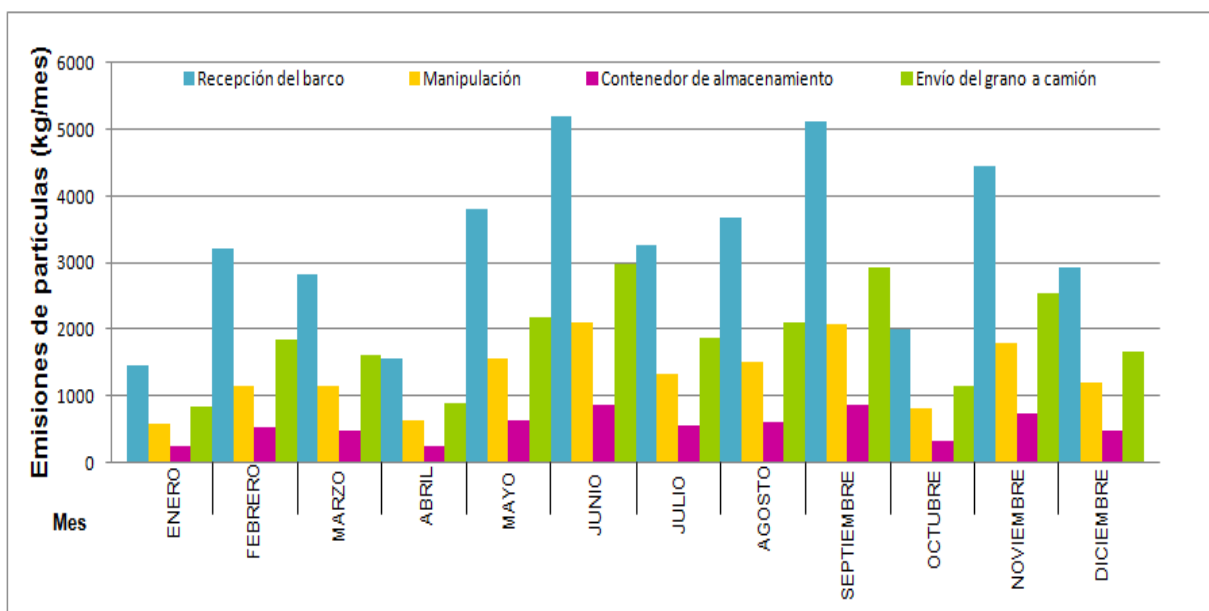


Figura 5. 8. Emisiones de partículas por actividades de manejo de arroz en el 2015

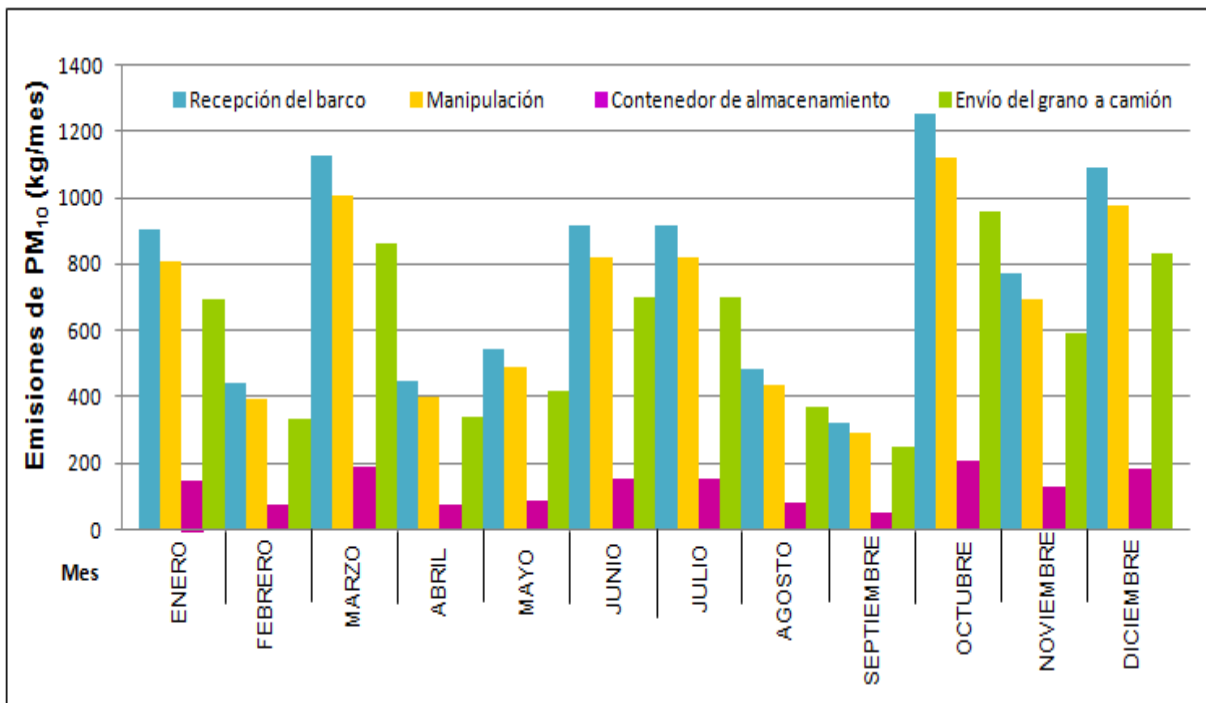


Figura 5. 9. Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de arroz en el 2014

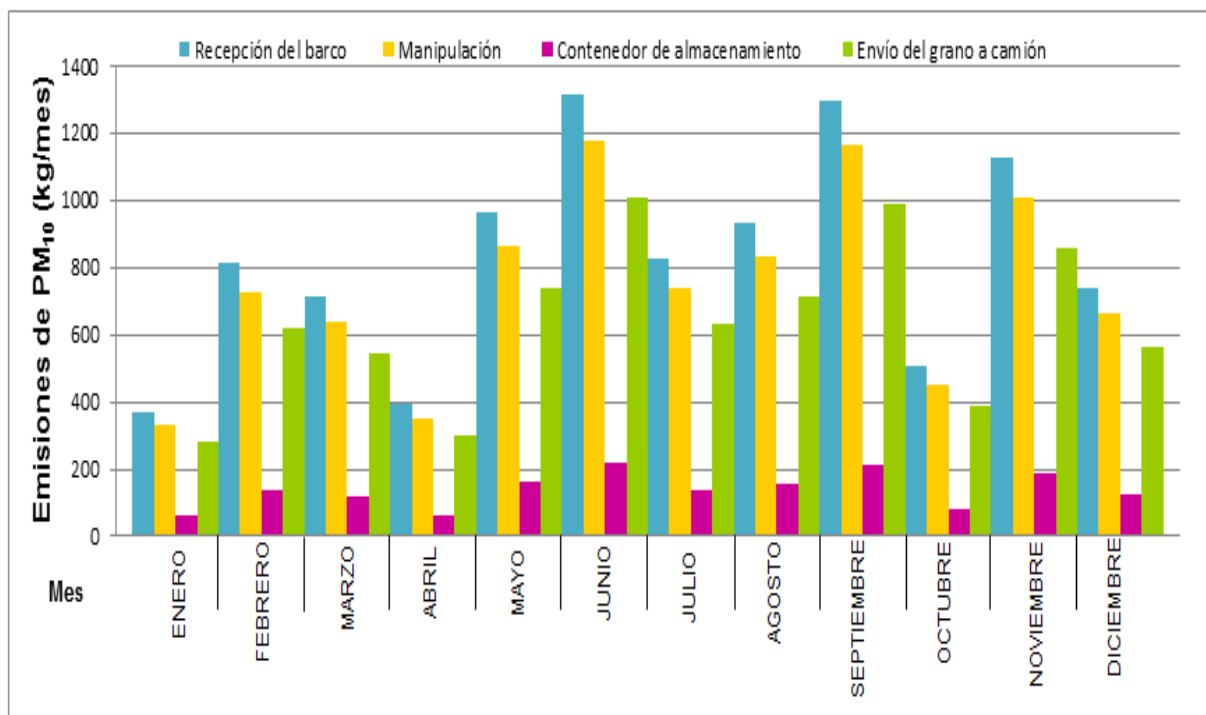


Figura 5. 10. Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de arroz en el 2015

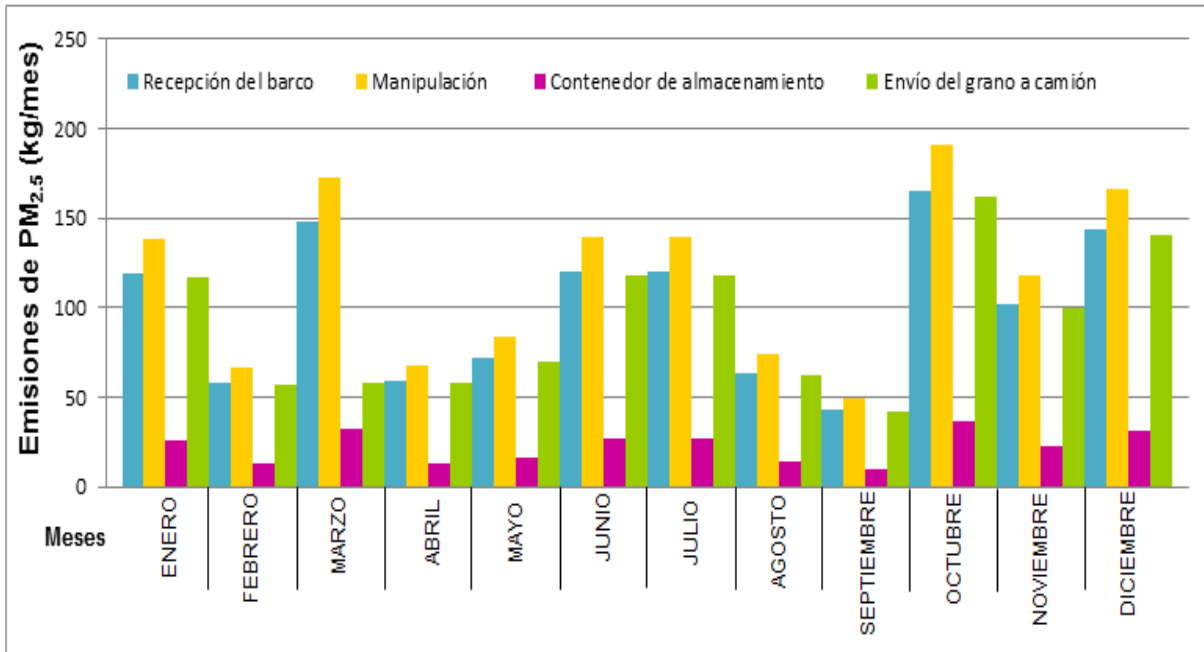


Figura 5. 11. Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de arroz en el 2014

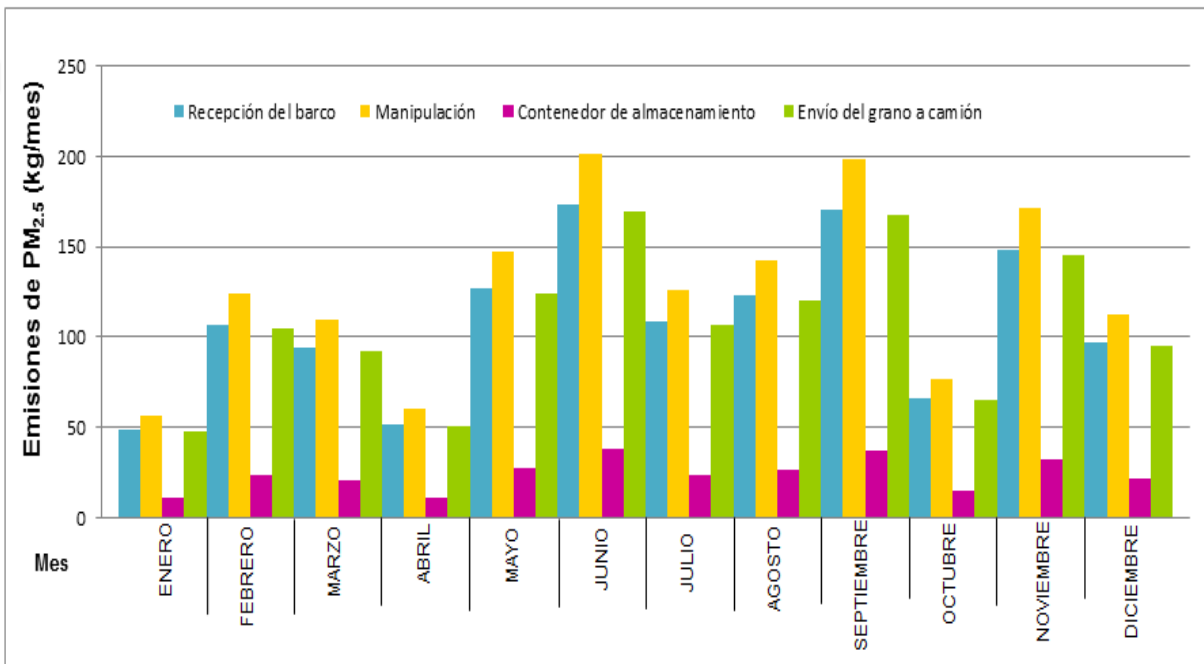


Figura 5. 12. Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de arroz en el 2015

En las actividades de manejo de arroz, se observa que para el año 2014, el mes de octubre presenta las emisiones más altas de partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$, ya que en este mes se manejó la mayor cantidad de arroz en el recinto. La actividad de recepción del arroz que llega al recinto de barco, es la actividad que representa las mayores emisiones para las partículas y PM_{10} , mientras que para las $PM_{2.5}$ la actividad que presenta las mayores emisiones es la manipulación (transferencia del grano) del arroz en el recinto; esto se debe a que de acuerdo a las pruebas de campo realizadas para el desarrollo de estos factores de emisión, para la actividad de recepción del barco se encontró que existía una relación de 0.133 entre las emisiones de $PM_{2.5}/PM_{10}$ (NGFA, 2001), mientras que para la actividad de la manipulación hay una relación de 0.17 de $PM_{2.5}/PM_{10}$ (NGFA, 2001), razón por la cual, las emisiones de $PM_{2.5}$ para la actividad de recepción del arroz son menores con relación a la manipulación del arroz. La actividad que presenta las menores emisiones es el almacenamiento del arroz, esto puede deberse a que es la actividad en la que el grano presenta menor contacto con corrientes de aire, ya que se encuentra almacenado en un contenedor y sólo ciertas corrientes de aire fuertes pueden ocasionar que se generen emisiones de partículas por las zonas de venteo del contenedor.

Para el caso del manejo de arroz en el año 2015, se muestra la misma tendencia que en el 2014, pero el mes con mayor cantidad de emisiones de partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$; fue el mes de junio, ya que se manejaron mayores cantidades de arroz durante este mes. El año 2015, presenta mayores cantidades de emisiones de partículas en relación con las que se presentaron en el 2014, ya que se manejaron mayores cantidades de arroz en este año.

Con respecto a las actividades (recepción, manipulación, almacenamiento y envío) que presentan mayores emisiones de partículas en diferentes tamaños (partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$) todos los granos que se envían fuera del recinto por camión presentan la tendencia explicada anteriormente para el arroz, cambiando solamente el mes de mayor cantidad de emisiones, ya que este depende de la cantidad maneja de material, por lo cual es diferente para cada material.

A continuación, en las Figuras 5.13 a la 5.18, se muestran las emisiones fugitivas de partículas por las actividades (recepción, manipulación, almacenamiento y envío), de maíz durante los años 2014 y 2015.

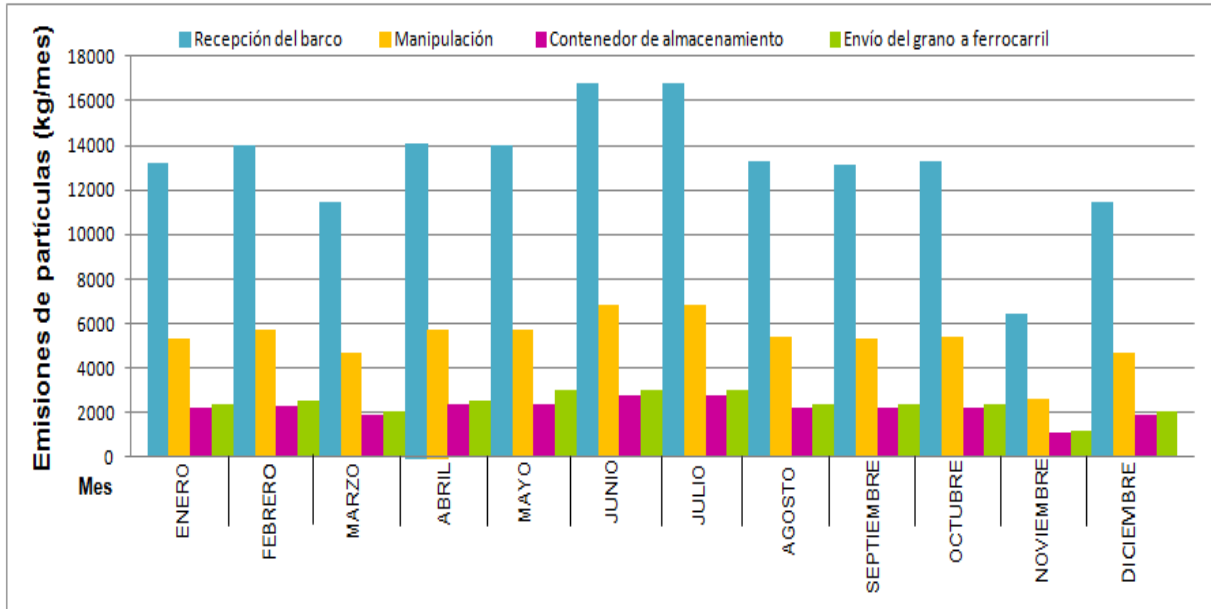


Figura 5. 13.Emisiones de partículas por actividades de manejo de maíz en el 2014

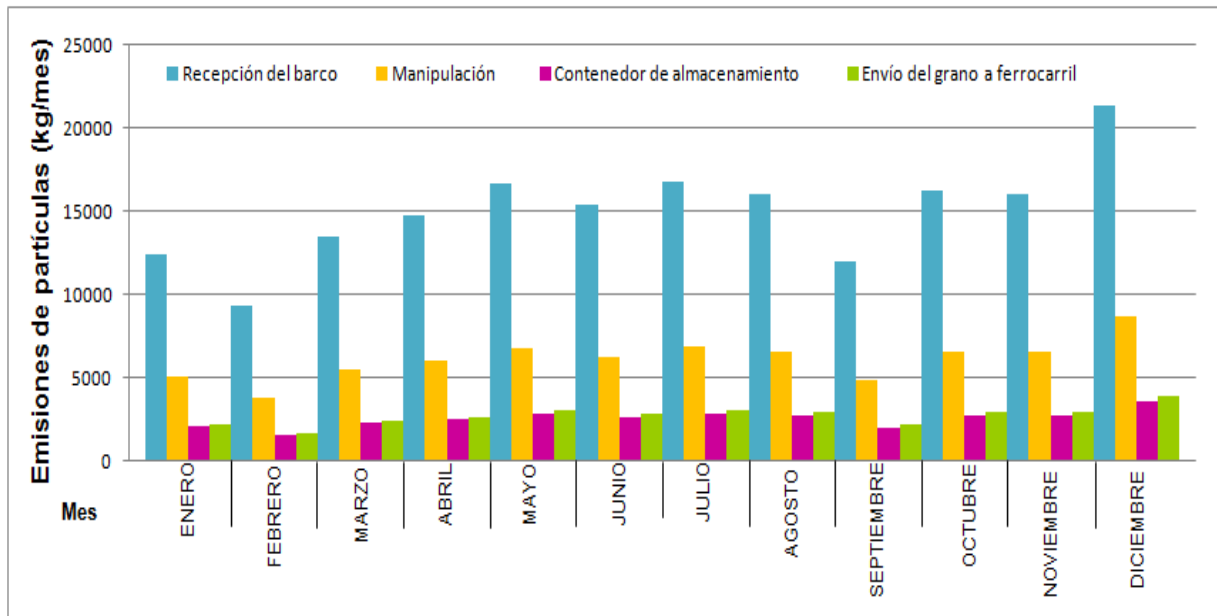


Figura 5. 14.Emisiones de partículas por actividades de manejo de maíz en el 2015

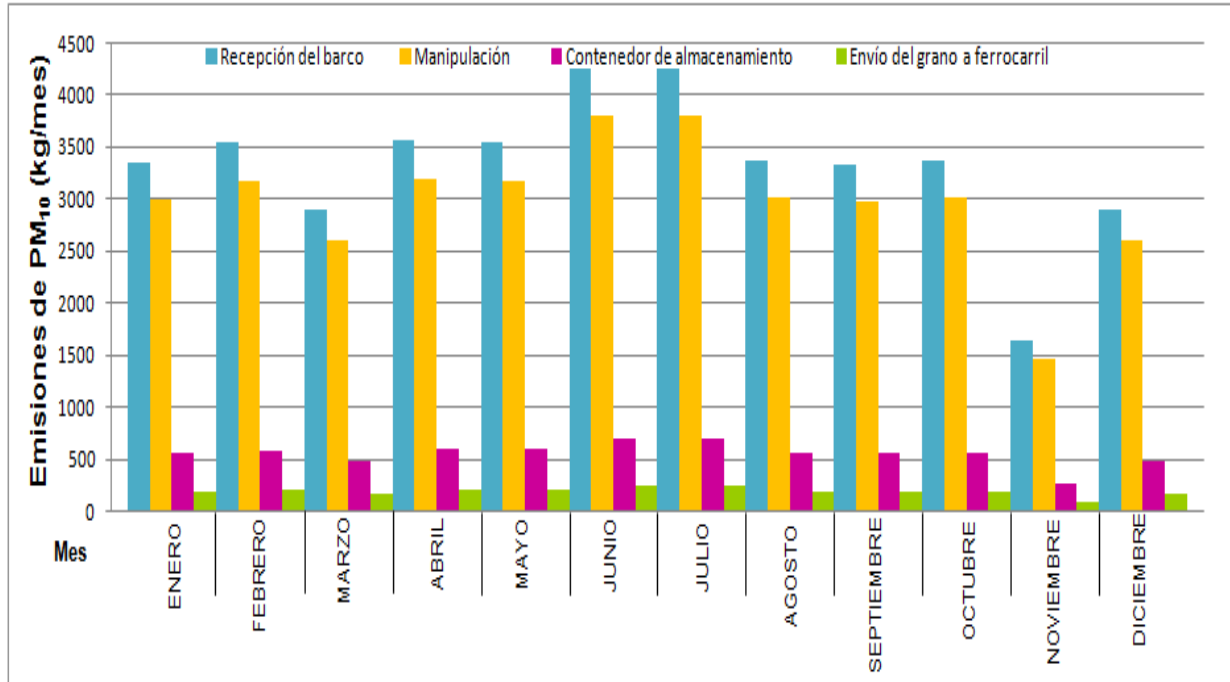


Figura 5. 15. Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de maíz en el 2014

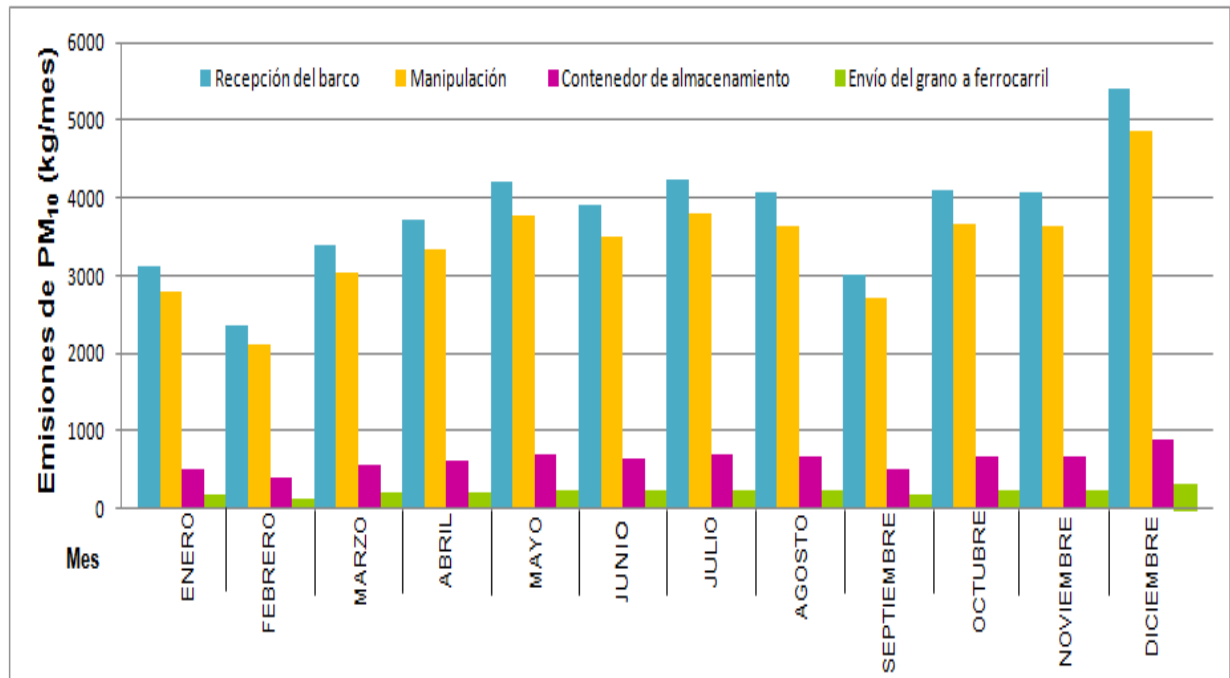


Figura 5. 16. Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de maíz en el 2015

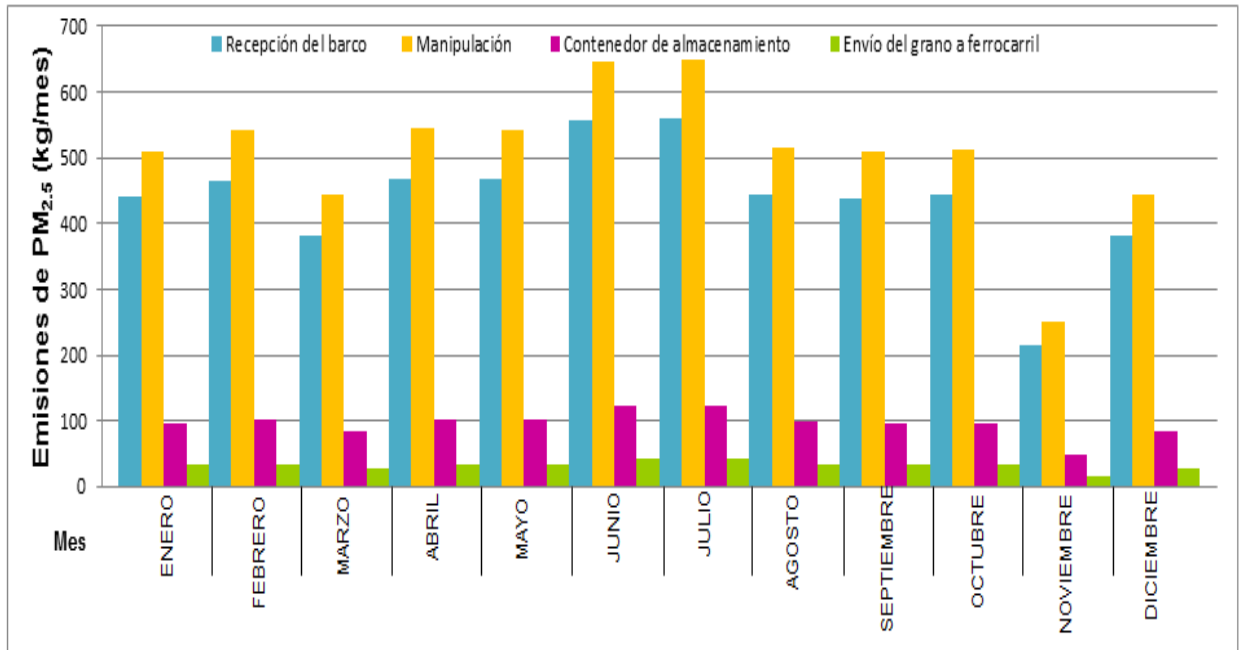


Figura 5. 17. Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de maíz en el 2014

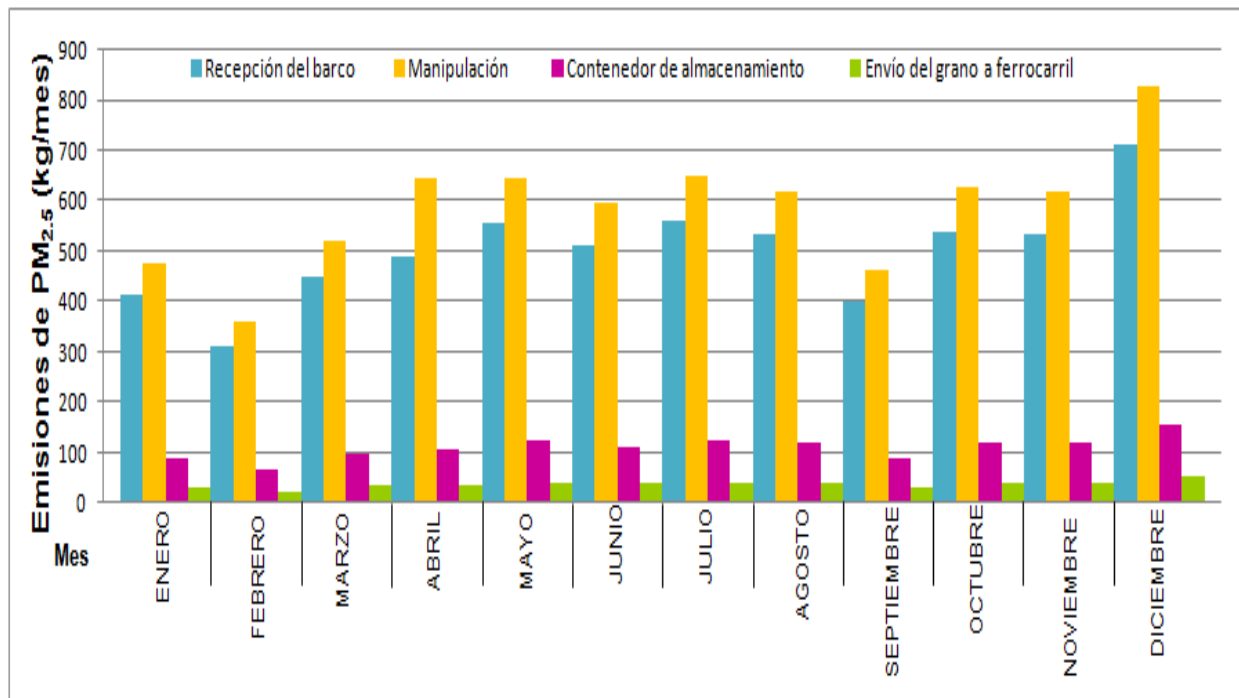


Figura 5. 18. Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de maíz en el 2015

El maíz es el material más manejado durante los años 2014 y 2015, por lo cual presenta las mayores cantidades de emisiones de partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$. En el 2014 el mes de julio presenta las mayores emisiones de partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$, como con otros granos, la actividad de recepción de maíz por medio de barco presenta las mayores emisiones para partículas y PM_{10} , la manipulación del maíz presenta las mayores emisiones para $PM_{2.5}$.

Aunque para el caso del maíz, que se envía fuera del recinto por ferrocarril, esta actividad genera menores emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$. Mientras que para las partículas, las emisiones son mayores para la actividad del envío por medio de ferrocarril y menores emisiones se presentan para el almacenamiento, debido a que para obtener el factor de emisión para partículas en la actividad de almacenamiento, se utilizó un valor promedio entre las pruebas de campo realizadas para dos tipos de granos (Maxwell, 1976), para PM_{10} se utilizó una relación de 25% de PM_{10}/PM (NGFA, 2001) y para $PM_{2.5}$ se utilizó la relación de 17 % de $PM_{2.5}/PM_{10}$ (NGFA, 2001). Para obtener el factor de emisión de la actividad de envío fuera del recinto por medio de ferrocarril, de partículas y PM_{10} , se obtuvo del promedio de 54 pruebas de campo realizadas a diferentes granos (NGFF, 1997) y para $PM_{2.5}$ se utilizó la relación del 17% $PM_{2.5}/PM_{10}$, por consiguiente el valor del factor de emisión para las partículas de la actividad de envío por medio de ferrocarril es mayor que el factor de emisión para la actividad de almacenamiento, mientras que para las PM_{10} y $PM_{2.5}$, el factor de emisión para la actividad de envío fuera del recinto por medio de ferrocarril es menor que para la actividad de almacenamiento, por lo cual se presenta la variación anterior.

En el 2015 la mayor cantidad de maíz se manejó en el mes de diciembre, mes en el que se emitieron las mayores cantidades de partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$.

El comportamiento que se presenta para las actividades (recepción, manipulación, almacenamiento y envío) que presentan mayores emisiones de partículas (partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$) es la misma para todos los granos que se envían fuera del puerto por medio de ferrocarril al igual que el maíz. El mes que presenta las mayores emisiones de partículas para cada grano es diferente para cada uno de ellos, ya que esto depende de la cantidad maneja del material.

A continuación se presentan las emisiones de totales de partículas (partículas, PM₁₀ y PM_{2.5}) correspondientes a la suma de de las emisiones de cada una de las actividades analizadas (recepción, manipulación, almacenamiento y envío), se muestran las emisiones para el arroz y el maíz a manera de ejemplo. Las figuras de emisiones totales de partículas para todos los granos se presentan en el Anexo 1.

En las Figuras 19 y 20 se muestran las emisiones de partículas totales para el arroz para los años 2014 y 2015.

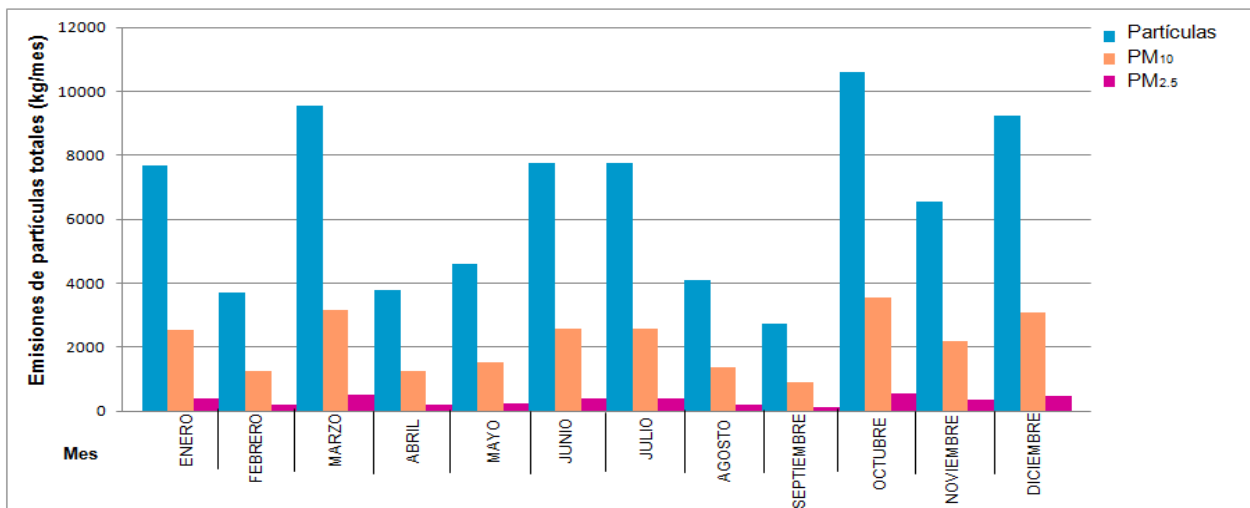


Figura 5. 19. Emisiones de partículas totales para el manejo de arroz en el 2014

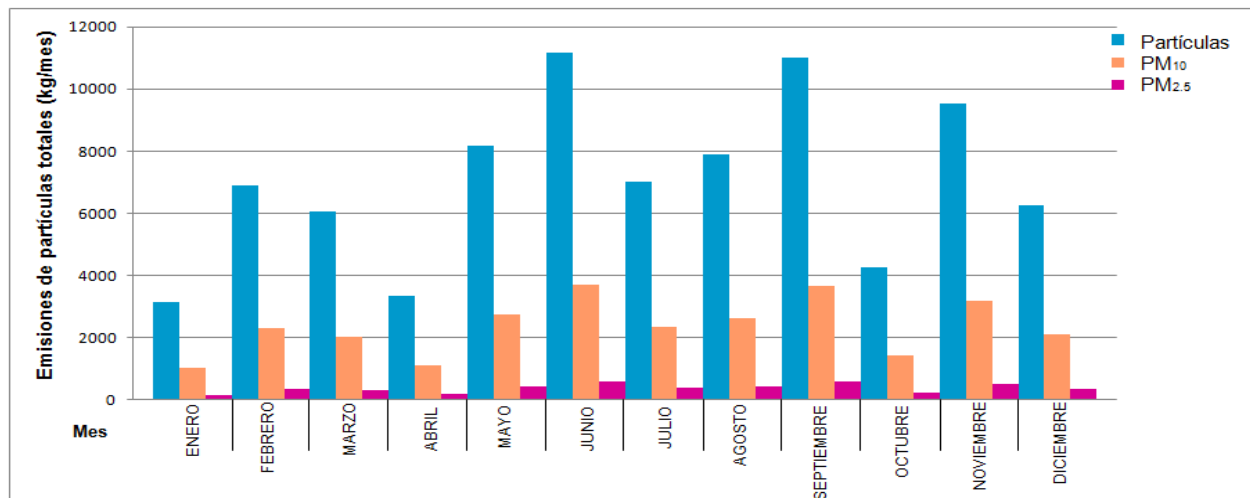


Figura 5. 20. Emisiones de partículas totales para el manejo de arroz en el 2015

En las Figuras 21 y 22 se muestran las emisiones totales de partículas para el maíz durante los años 2014 y 2015.

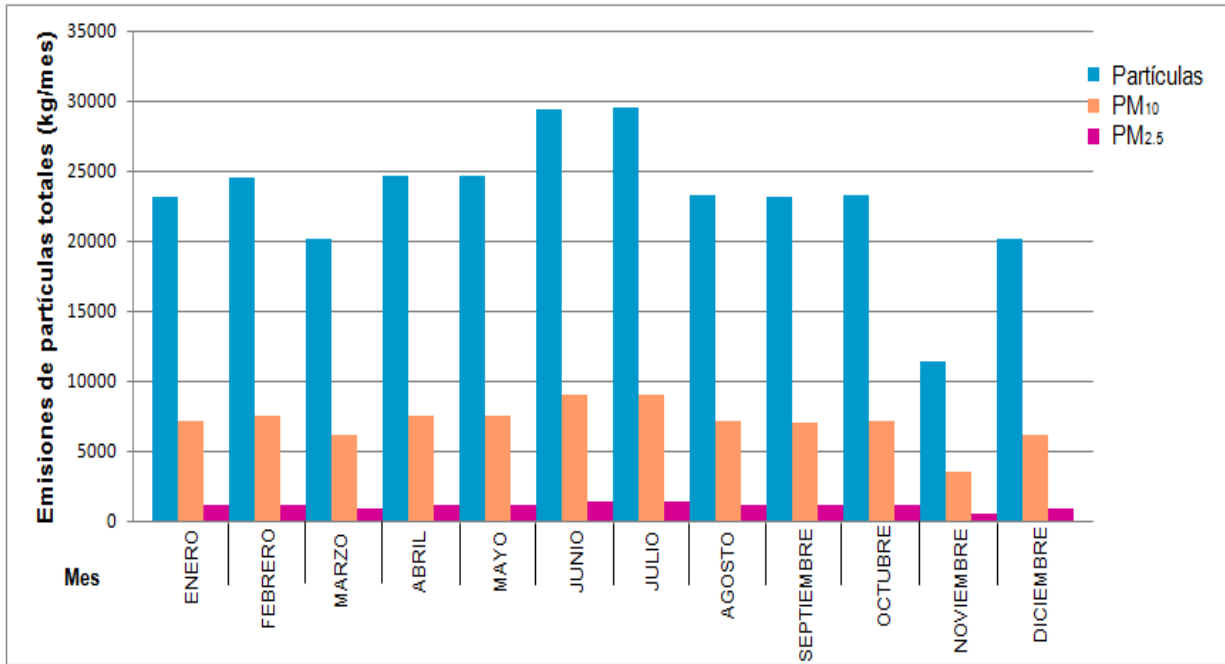


Figura 5. 21. Emisiones de partículas totales por el manejo de maíz en el 2014

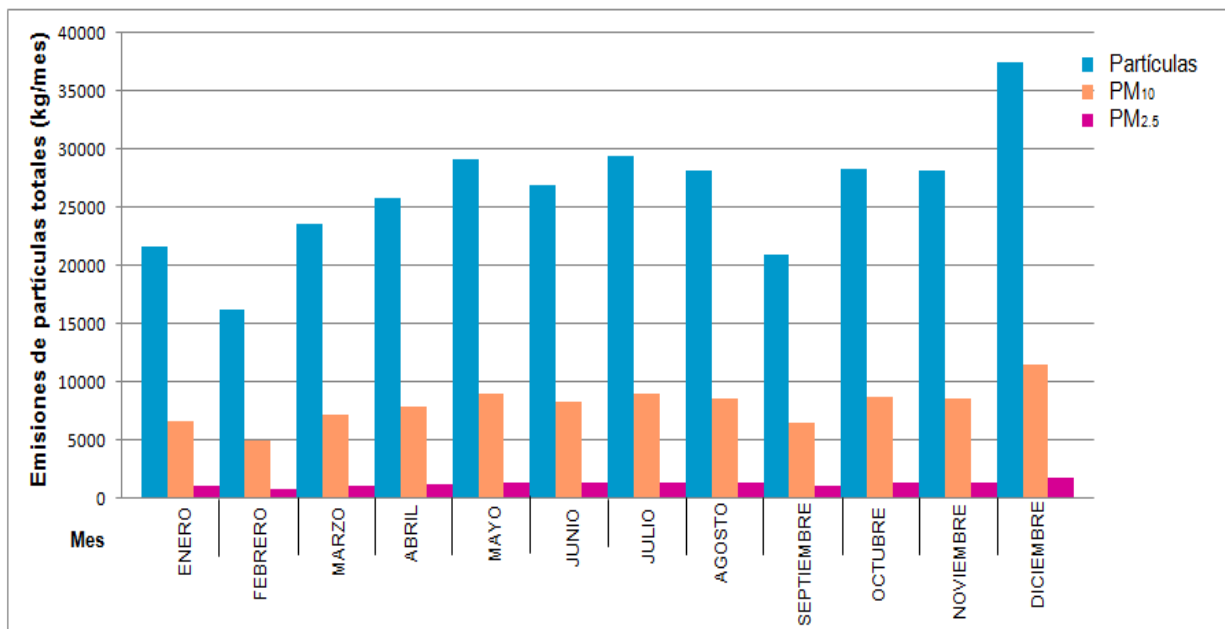


Figura 5. 22. Emisiones de partículas totales por el manejo de maíz en el 2015

Las figuras de partículas totales muestran que el mes con mayor manejo del material en el caso de cada grano, presenta las mayores emisiones. Las mayores emisiones son siempre de partículas, seguidas por PM_{10} y por último las $PM_{2.5}$, ya que, las partículas incluyen a las PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Para el caso de los granos que son retirados del recinto en ferrocarril (maíz, soya, semilla de canola, sorgo, trigo, cebada y malta), las emisiones emitidas de partículas son mayores que las PM_{10} en un 53%, las PM_{10} se emiten más que las $PM_{2.5}$ en un 85% y las emisiones de partículas son mayor que las cantidades de $PM_{2.5}$ en 93%.

En el caso de los granos que son retirados del recinto en camión (arroz, gluten de maíz, grano seco, maíz triturado, salvado de trigo), se presenta que las cantidades emitidas de partículas son mayores que las PM_{10} en un 46%, las PM_{10} se emiten más en un 85% que las $PM_{2.5}$ y las cantidades de partículas son mayores que las $PM_{2.5}$ en 92%.

Las variaciones que se presentan entre las cantidades de emisiones de partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$, para granos retirados del recinto en ferrocarril o camión, se deben a las relaciones entre los diferentes tamaños de partículas, que fueron utilizadas para el desarrollo de los factores de emisión empleados para estas estimaciones.

5.3. Resultados de la estimación de emisiones fugitivas de partículas emitidas por el manejo de granel mineral

En las Tablas 5.2 y 5.3 se muestran los resultados de las estimaciones de emisiones fugitivas de partículas emitidas por el manejo de coque de petróleo en el recinto Portuario de Veracruz durante el 2014 y 2015.

Tabla 5. 2. Emisiones fugitivas de partículas por la carga y descarga en las pilas de almacenamiento de coque de petróleo en el Recinto Portuario de Veracruz durante el 2014.

Enero					
Cantidad manejada (Mg)	Velocidad del viento (m/s)	Humedad (%)	Tamaño de diámetro aerodinámico de partícula (µm)	Factor de emisión (kg/Mg)	Emisiones de partículas fugitivas (kg por mes)
35997	3.67	0.403	<30	0.022	780.82
			<15	0.014	506.48
			<10	0.010	369.31
			<5	0.006	211.03
			<2.5	0.002	55.92
Febrero					
62353	3.13	0.403	<30	0.018	1099.72
			<15	0.011	713.33
			<10	0.008	520.14
			<5	0.005	297.22
			<2.5	0.001	78.76
Abril					
35629	2.94	0.403	<30	0.016	579.26
			<15	0.011	375.74
			<10	0.008	273.97
			<5	0.004	156.56
			<2.5	0.001	41.49

Mayo					
Cantidad manejada (Mg)	Velocidad del viento (m/s)	Humedad (%)	Tamaño de diámetro aerodinámico de partícula (µm)	Factor de emisión (kg/Mg)	Emisiones de partículas fugitivas (kg por mes)
96954	2.82	0.403	<30	0.015	1493.16
			<15	0.010	968.54
			<10	0.007	706.22
			<5	0.004	403.56
			<2.5	0.001	106.94
Agosto					
60018	1.82	0.403	<30	0.009	523.11
			<15	0.006	339.31
			<10	0.004	247.42
			<5	0.002	141.38
			<2.5	0.001	37.47
Septiembre					
36083	2.22	0.403	<30	0.011	407.17
			<15	0.007	264.11
			<10	0.005	192.58
			<5	0.003	110.05
			<2.5	0.001	29.16
Octubre					
22827	3.19	0.403	<30	0.018	412.66
			<15	0.012	267.67
			<10	0.009	195.18
			<5	0.005	111.53
			<2.5	0.001	29.56
Diciembre					
66142	2.48	0.403	<30	0.013	861.95
			<15	0.008	559.10
			<10	0.006	407.68
			<5	0.004	232.96
			<2.5	0.001	61.73

Tabla 5. 3. Emisiones fugitivas de partículas por la carga y descarga en las pilas de almacenamiento de coque de petróleo en el Recinto Portuario de Veracruz durante el 2015

Enero					
Cantidad manejada (Mg)	Velocidad del viento (m/s)	Humedad (%)	Tamaño de diámetro aerodinámico de partícula (µm)	Factor de emisión (kg/Mg)	Emisiones de partículas fugitivas (kg por mes)
28855	3.70	0.403	<30	0.022	632.56
			<15	0.014	410.31
			<10	0.010	299.18
			<5	0.006	170.96
			<2.5	0.002	45.30
Febrero					
65193	3.05	0.403	<30	0.017	1111.75
			<15	0.011	721.14
			<10	0.008	525.83
			<5	0.005	300.47
			<2.5	0.001	79.63
Abril					
123515	2.46	0.403	<30	0.013	1592.77
			<15	0.008	1033.15
			<10	0.006	753.34
			<5	0.003	430.48
			<2.5	0.001	114.08
Junio					
65611	2.18	0.403	<30	0.011	723.08
			<15	0.007	469.03
			<10	0.005	342.00
			<5	0.003	195.43
			<2.5	0.001	51.79

Julio					
Cantidad manejada (Mg)	Velocidad del viento (m/s)	Humedad (%)	Tamaño de diámetro aerodinámico de partícula (µm)	Factor de emisión (kg/Mg)	Emisiones de partículas fugitivas (kg por mes)
35893	2.15	0.403	<30	0.011	388.51
			<15	0.007	252.00
			<10	0.005	183.75
			<5	0.003	105.00
			<2.5	0.001	27.83
Septiembre					
67929	3.88	0.403	<30	0.023	1583.99
			<15	0.015	1027.46
			<10	0.011	749.19
			<5	0.006	428.11
			<2.5	0.002	113.45
Octubre					
97860	3.58	0.403	<30	0.021	2055.28
			<15	0.014	1333.15
			<10	0.010	972.09
			<5	0.006	555.48
			<2.5	0.002	147.20
Noviembre					
68996	2.96	0.403	<30	0.016	1131.67
			<15	0.011	734.06
			<10	0.008	535.25
			<5	0.004	305.86
			<2.5	0.0012	81.05
Diciembre					
66935	3.46	0.403	<30	0.020	1344.84
			<15	0.013	872.33
			<10	0.010	636.07
			<5	0.005	363.47
			<2.5	0.001	96.32

En las Figuras 5.23 y 5.24 se presentan las emisiones fugitivas de partículas por las operaciones de carga y descarga en las pilas de almacenamiento de coque de petróleo de todos los meses en los que se manejó para 5 diferentes tamaños de partículas durante el 2014 y 2015.

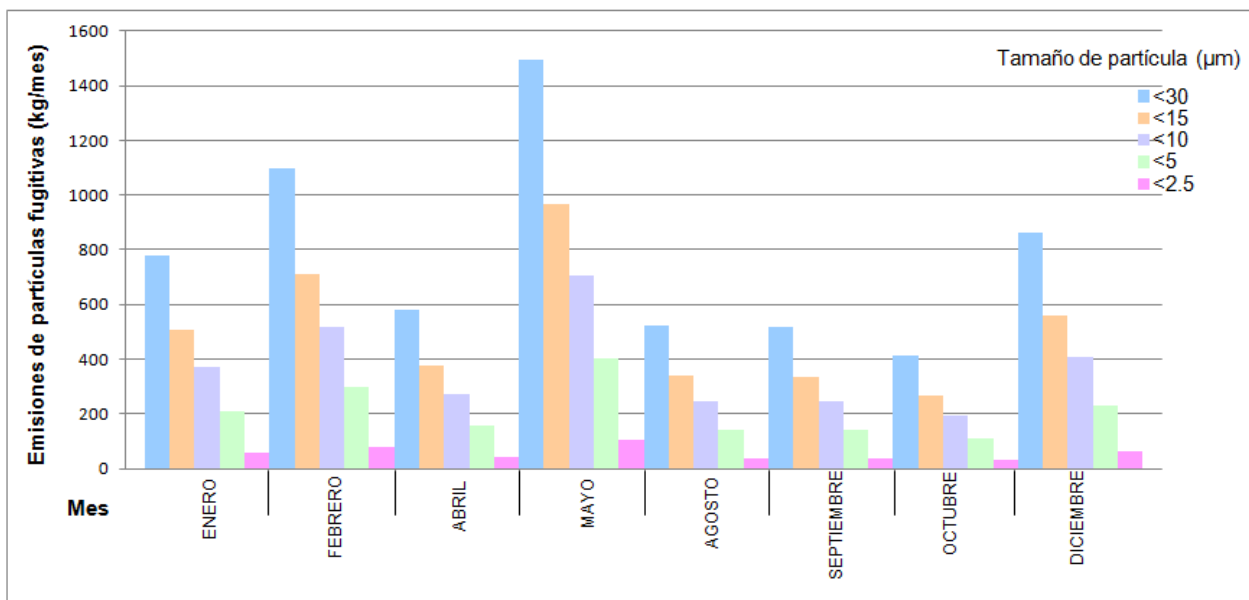


Figura 5. 23. Emisiones fugitivas de partículas por la carga y descarga en las pilas de almacenamiento de coque de petróleo en el 2014.

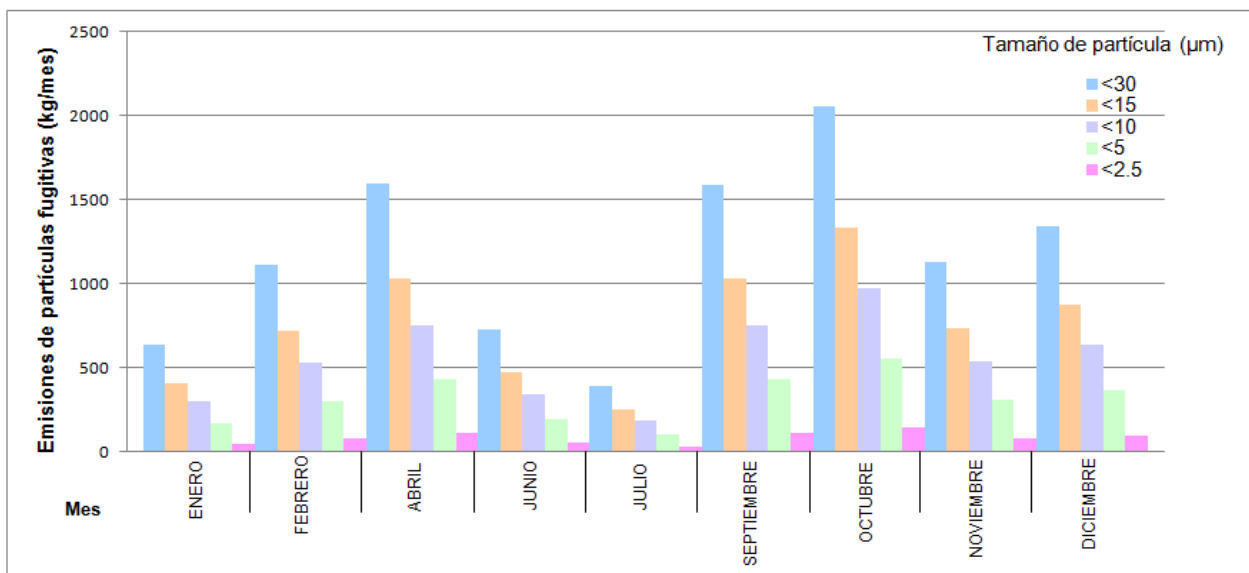


Figura 5. 24. Emisiones fugitivas de partículas por la carga y descarga en las pilas de almacenamiento de coque de petróleo en el 2015.

En las Figuras 5.23 y 5.24 se muestran las emisiones generadas para 5 tamaños diferentes de partículas ($<30\ \mu\text{m}$, $<15\ \mu\text{m}$, $<10\ \mu\text{m}$, $<5\ \mu\text{m}$ y $<2.5\ \mu\text{m}$), ya que durante la manipulación del coque de petróleo se pueden presentar emisiones de partículas de diferentes tamaños. Se observa que las emisiones fugitivas de partículas de mayor tamaño son las que más se emiten durante la manipulación del coque de petróleo en el recinto, mientras que las $<2.5\ \mu\text{m}$ son las que menos emiten, las $<30\ \mu\text{m}$ son emitidas en un 93% más que las $<2.5\ \mu\text{m}$, 73% más que las $<5\ \mu\text{m}$, 53 μm más que las $<10\ \mu\text{m}$ y 35% más que las $<15\ \mu\text{m}$.

Las emisiones fugitivas de partículas por el manejo de coque de petróleo dependen de diversos factores como es la velocidad del viento, mayores velocidades de viento generan un factor de emisión más alto y por lo tanto una mayor cantidad de emisiones fugitivas de partículas. Además el contenido de humedad del material también tiene una influencia significativa en las emisiones, un porcentaje de humedad más alto genera un valor de factor de emisión bajo y por consiguiente menor cantidad de emisiones fugitivas de partículas, para el caso del coque de petróleo, el valor de humedad es relativamente bajo lo que aumenta las emisiones fugitivas de partículas, aunque los resultados también tienen influencia de la velocidad de viento en el mes en que se maneja el material.

En el año 2014 las mayores emisiones fugitivas de partículas para los 5 tamaños de partículas se presentaron en el mes mayo, mientras que para el 2015 las mayores se presentaron en el mes de abril.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología de los factores de emisión del AP-42 de la USEPA permitió la estimación de las emisiones fugitivas de partículas por el manejo de granel mineral y agrícola en el recinto portuario de Veracruz. Para el caso del granel agrícola las estimaciones se realizaron en base a cuatro actividades diferentes de manipulación. Mientras que para el granel mineral la estimación se realizó para la carga y descarga de coque de petróleo en pilas de almacenamiento, considerando su cantidad de humedad y la velocidad del viento del lugar.

Las emisiones de partículas producidas por la manipulación de los materiales a granel, se deben a las mismas operaciones de manipulación y están influenciadas por la velocidad del viento del sitio de estudio.

El manejo de granel agrícola en el recinto portuario de Veracruz, genera emisiones fugitivas de partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$ para cuatro diferentes actividades de su manejo (recepción, manipulación, almacenamiento y envío del grano) durante los años 2014 y 2015. Las mayores emisiones de partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$, dependieron del mes en que se trabajó la mayor cantidad del material.

El maíz es el material que más emisiones fugitivas de partículas genera, debido a que se manejaron las mayores cantidades durante estos dos años. En el mes de julio del año 2014 se obtuvieron las mayores emisiones de partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$, para este material. En julio del 2014 se obtuvieron 29472.04 kg/mes emisiones de partículas, 9020.91 kg/mes de PM_{10} y 1374.99 kg/mes de $PM_{2.5}$. Mientras que para el año 2015, las mayores emisiones fugitivas de partículas, se presentaron en el mes de diciembre, obteniendo las siguientes cantidades: partículas 37494.46 kg/mes, PM_{10} 11476.44 kg/mes y $PM_{2.5}$ 1749.27 kg/mes.

La actividad que presenta las mayores emisiones para partículas y PM_{10} , para todos los productos de granel agrícola manipulados, es la actividad de recepción del grano

por medio de barco y para las $PM_{2.5}$ la actividad que presenta mayores emisiones es la manipulación del grano dentro del recinto.

La actividad que presenta menores emisiones de partículas, PM_{10} y $PM_{2.5}$, es el almacenamiento del grano, para los productos que son enviados fuera del recinto en camión y para las emisiones de partículas que se envían fuera por medio de ferrocarril; mientras que para las emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$, para los materiales que se envían fuera del recinto en ferrocarril las menores emisiones fueron por la actividad del envío del grano.

En el caso del granel mineral, las mayores emisiones fugitivas de partículas fugitivas para el tamaño de $<30 \mu m$ de diámetro aerodinámico y menores emisiones para de $<2.5 \mu m$, lo cual depende del multiplicador de tamaño de partícula, considerado en la ecuación para calcular el factor de emisión. Las partículas $<30 \mu m$ se emiten más que las partículas $<2.5 \mu m$ en un 93%.

En el año 2014, el mes de mayo presentó las mayores emisiones fugitivas de partículas por el manejo de coque de petróleo, para partículas de $<30 \mu m$ se generaron 1660.43 kg/mes, para $<15 \mu m$ 1077.04kg/mes, para $<10 \mu m$ 785.34 kg/mes, para $<5 \mu m$ 448.77 kg/mes y finalmente, para partículas de tamaño $< 2.5 \mu m$ 118.92 kg/mes.

En el 2015, el mes de abril presentó las emisiones fugitivas de partículas más altas por el manejo de coque de petróleo, obteniéndose las siguientes cantidades para los diferentes tamaños: $<30 \mu m$ (1626.52 kg/mes), $<15 \mu m$ (1055.04 kg/mes), $<10 \mu m$ (769.3 kg/mes), $<5 \mu m$ (439.6 kg/mes) y $<2.5 \mu m$ (116.49 kg/mes).

La precisión de los factores de emisión depende de que sean aplicados correctamente, para las condiciones, actividades y materiales para los que fueron desarrollados, ya que hay incertidumbre en los cálculos debido a que los factores de emisión aplicados en este trabajo fueron desarrollados en los Estados Unidos de América, desarrollándose bajo otras condiciones meteorológicas.

Es importante mencionar que no existe una normatividad aplicable a la emisiones de partículas por manejo de granel, por lo cual, para poder realizar una comparación de los límites establecidos por las normas de calidad del aire, es necesario determinar los valores de concentración de partículas derivados a estas emisiones.

6.2 RECOMENDACIONES

Para ampliar y mejorar el presente trabajo de manera que sea posible realizar la estimación de todos los materiales de granel mineral, es necesario tener información completa de las propiedades de cada uno de estos materiales manejados en el recinto portuario de Veracruz, como lo son el porcentaje de humedad y tamaño de partícula.

Se recomienda tener datos más específicos para cada uno de los materiales de granel mineral y agrícola que se manejan en el recinto portuario de Veracruz, si es posible mostrar los datos de su manejo por día y no por mes como se muestran actualmente.

Para prevenir éstas emisiones se recomienda limitar el contacto de los materiales a granel con las corrientes de aire, minimizar las distancias y puntos de transferencia de estos materiales y/o disminuir la velocidad de las bandas de transferencia.

Para el control de las emisiones, se recomienda seguir utilizado el método para la carga y descarga del coque de petróleo, que consiste en rociar una mezcla de agua con celulosa en las áreas de almacenamiento, para evitar su dispersión una vez que se almacena en el recinto portuario de Veracruz, ya que su área de almacenamiento es abierta.

Para minimizar las emisiones del manejo de materiales a granel agrícola, se puede aplicar un aceite vegetal o mineral, en estudios realizados se ha encontrado que la supresión de polvo por la aplicación de aceite vegetal o mineral puede alcanzar una reducción de entre 60 a 80% de emisiones fugitivas de partículas (MRI, 1994), (NGFF, 1997). La eficiencia de este sistema de supresión de aceite depende de lo

bien que el aceite se dispersa dentro de la corriente de grano después de que es aplicado. El aceite puede aplicarse en diferentes puntos del manejo del grano.

Se recomienda determinar la calidad del aire debido a las concentraciones de partículas generadas, con la finalidad de comparar los valores con la normatividad ambiental aplicable.

Es recomendable desarrollar factores de emisión para las actividades de manejo de granel en recintos portuarios bajo condiciones específicas, tanto meteorológicas como de operación para México.

7 BIBLIOGRAFÍA

Aldabe Salinas, Janire (2011). “Caracterización Físico-química del material particulado en la comunidad Foral de Navarra”. Tesis de Doctorado. Universidad de Navarra. Facultad de Ciencias. España.

APIVER (2008) Administración Portuaria Integral de Veracruz. S.A de C.V. Análisis Costo-Beneficio de la Ampliación Natural del Puerto de Veracruz en la Zona Norte, julio 2008.

APIVER (2015 a). Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A de C.V. “Puerto de Veracruz, datos estadísticos del movimiento de carga y buques (enero-diciembre 2014 y enero-diciembre 2016)”.

Disponible: <http://www.puertodeveracruz.com.mx/estadisticas/>

(Consultado el 22 de julio del 2015)

APIVER (2015 b). Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A de C.V. “Puerto de Veracruz, mapa de las instalaciones”.

Disponible: <http://www.puertodeveracruz.com.mx/infraestructura/mapa-de-instalaciones/>

(Consultado el 23 de julio del 2015)

APIVER (2015 c). Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A de C.V y Secretaria de Comunicaciones y Transportes, México. “Programa Maestro de Desarrollo Portuario de Veracruz (2011-2016)”.

APIVER (2016). Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A de C.V. “Puerto de Veracruz. Cesionarias”.

Disponible: <http://www.puertodeveracruz.com.mx/acerca-del-puerto/empresas-del-puerto/cesionarios/>

(Consultado 17 de enero del 2016)

Arciniégas, César (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable pm_{10} . Universidad de Caldas. Pp. 195-213.

Bailey Diane, Plenys Thomas, Solomon Gina M., Campbell Todd R., Ruderman Gail, Masters Julie y Tonkonogy Bella (2004). “Anclando la Contaminación Portuaria. Estrategias para la limpieza de puertos estadounidenses”. Natural Resources Defense Council.

BOE (2007). Boletín Oficial del Estado. BOE-A-2007-19744 “Ley 34/2007, 15 de noviembre, calidad del aire y protección de la atmósfera”.

COFEPRIS (2015) Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. “Calidad del aire”.

Disponible: <http://www.cofepris.gob.mx/MJ/Paginas/NormasPorTema/Calidad-de-aire.aspx>

(Consultado el 24 de septiembre del 2015)

Cowherd Chatten Jr., Axetell Kenneth Jr., Guenther Christine M., Jutze George A. (1974). Development of emission factors for fugitive dust sources, EPA-450/3-74-037, U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. Page.3.

DCT (2013). Dust Control Technology. “Dust Boss”

Disponible: <http://www.dustboss.com/dust-suppression-at-port-of-veracruz/>

(Consultado el 12 de mayo del 2016)

DOF (1993). Diario Oficial de la Federación “Ley de Puertos”. 19 de julio de 1993. México.

DOF (2005). Diario Oficial de la Federación. “NOM-025-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas

totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM₁₀ y partículas menores de 2.5 micrómetros PM_{2.5} de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire”. 26 de septiembre de 2005. México.

DOF (2011). Diario Oficial de la Federación. “NOM-085-SEMARNAT-2011. Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición”. 2 febrero 2012, México.

DOF (2014). Diario Oficial de la Federación. “NOM-025-SSA1-2014. Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente y criterios para su evaluación”. 20 agosto 2014. México.

EC and HC (1998). Environment Canada and Health Canada. “National ambient air quality objectives for particulate matter”. Executive Summary. Part 1: Science Assessment Document. CEPA/FPAC Working Group on Air Quality Objectives and Guidelines.

European Commission (2015). Environment. “Air Quality Standards”.

Disponible: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

(Consultado el 25 de agosto del 2015)

Fugitive Dust FAQs (2011). “Fugitive Dust Frequently Asked Questions”.

Disponible: <https://dec.alaska.gov/air/ap/docs/Fugitive%20Dust%20FAQs%203-31-11.pdf>

(Consultado 10 octubre 2016)

Fundación de la Industria Marítima (2015). “Tipo de mercancías”

Disponible: <http://www.maritimeinfo.org/es/Maritime-Directory/liquid-bulk-cargo>

(Consultado el 10 de septiembre del 2015)

Ghio A. J., Samet J. (1999). Air Pollution and health: metals and air pollution particles. Academic Press, p. 635-651.

Gobierno Vasco (2012). “Guía para la prevención de emisiones difusas de partículas”. Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Dirección de Planificación Ambiental. 2012. Pp. 20-21.

INDAPORT (2015). “Sistema de indicadores ambientales para el sistema portuario español”. IPEC, pág. 4.

INE (2005). Instituto Nacional de Ecología. “Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones” pp. 83-86.

INECC (2000). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. “Gestión de la calidad del aire en México. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000”. Primera edición octubre del 2000. México, pág. 7.

INECC (2015). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. “Contaminantes Criterio”.

Disponible: <http://www.inecc.gob.mx/calair-informacion-basica/523-calair-cont-criterio>

(Consultado el 26 de agosto del 2015)

INEGI (2009). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. “Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Veracruz, Veracruz de Ignacio de la Llave”.

INEGI (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Marco “Geoestadístico Municipal. Versión 5.0”.

Maxwell W. H. (1976) Stationary Source Testing of a Country Grain Elevator at the Great Bend Cooperative Association Elevator B, Great Bend, Kansas, Final Report, Contract No. 68-02-1403, Task 19, Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri, April 29, 1976.

MRI (1994). Tests of Oil Suppression Of PM-10 At Grain Elevators, Test Report, Midwest Research Institute, Kansas City, MO, November.

Nazario Pérez, Ricardo (2014). “Importancia y aplicación de factores de emisión para las actividades desarrolladas en un Recinto Portuario”. Tesis de Licenciatura, Facultad de Química, UNAM.

NGFA (2001) National Grain and Feed Foundation. “Emission Factors for Barges and Marine Vessels”, Final Test Report, Washington, DC, October.

NGFF (1997) National Grain and Feed Foundation. “Emission Factors for Grain Elevators”, Final Report, Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri, January.

NRDC (2004). Natural Resources Defense Council. “Harboring Pollution: Strategies to Clean Up US Ports”.

OMS (2006) Organización Mundial de la Salud “Guías de calidad de aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre”. Actualización mundial 2005, pp. 9-13.

PTC (2015). Puertos, Transporte y Carga. ¿Qué es un puerto verde?

Disponible: <http://www.ptc.mx/2015/05/que-es-un-puerto-verde/>

(Consultado el 7 de junio del 2015)

Rúa, Carles (2006). “Los Puertos en el Transporte Marítimo”. Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales. Universidad Politécnica de Catalunya. 2006, pp.1-20.

Salgado Ávila, Gabriela. (2015). “Análisis de Riesgo en las Áreas de Almacenamiento para Combustibles en el Recinto Portuario de Veracruz”. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

Sbarato V., Sbarato D., Basan R., Manzo, P., Ortega J., Campos M., Salort M. (2016). Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico. Ciudad de Córdoba, Argetnina. Maestría en Gestión para la Integración Regional y Centro de Información y Documentación Regional, Universidad Nacional de Córdoba.

SCT (2015). Secretaría de Comunicaciones y Transporte. “Puertos de México”. Disponible en: <http://www.sct.gob.mx/puertos-y-marina/puertos-de-mexico/> (Consultado el 18 de diciembre del 2015).

SCT (2016). Secretaría de Comunicaciones y Transporte. “Supervisan medidas ambientales en la ampliación del puerto”. Disponible en: <http://www.puertodeveracruz.com.mx/supervisan-medidas-ambientales-en-la-ampliacion-del-puerto/> (Consultado el 10 de agosto del 2016)

SEMARNAT (2001) Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. “Guía para la correcta selección y empleo de métodos de estimación de emisiones contaminantes”. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tlalpan México, D.F. Primera Edición. P.p. 21”.

SEMARNAT (2011) Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. “Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM_{2.5}”. Primera edición, México”.

SEMARNAT (2012). Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.”Informe de la situación del Medio Ambiente en México”. Capitulo 5. Atmósfera. Pág.192.

SEMARNAT (2015) Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. “NOM - Normas Oficiales Mexicanas ordenadas por Materia”.

Disponible en: <http://www.semarnat.mx/leyes-y-normas/noms>

(Consultado el 10 de octubre del 2015)

SIMAT (2015). Sistema de Monitoreo Atmosférico. “Partículas Suspendidas”.

Disponible: <http://www.aire.df.gob.mx/>

(Consultado el 30 de agosto del 2015)

Tami, Pimiento Leidy Magaly. (2013). “Realización del inventario de emisiones atmosféricas generadas por las actividades del recinto portuario de Veracruz, México”. Tesis de Maestría, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

The Green Port. (2016) “Green Port Policy”. Port the long Beach.

Disponible: http://www.polb.com/environment/green_port_policy.asp

(Consultado el 23 de febrero 2016)

USEPA (1992). U.S. Environmental Protection Agency. “Fugitive Dust Background Document and Technical Information Document for Best Available Control Measures”. Office of Air and Radiation. September.

USEPA (1997). U.S. Environmental Protection Agency. “Particle size definitions for particulate date analysis”. Interagency Energy-Environment Research and Development Program Report. Page 7.

USEPA (2013). U.S. Environmental Protection Agency. “Recommended Procedures for Development of Emissions Factors and Use of the WebFIRE. Database”. Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina 27711. August.

USEPA (2015 a) U.S. Environmental Protection Agency. “Particulate Matter (PM₁₀)”. U.S. Environmental Protection Agency.

Disponible en: <http://www3.epa.gov/airtrends/aqtrnd95/pm10.html>

(Consultado el 25 de octubre 2015)

USEPA (2015 b) U.S. Environmental Protection Agency. “Fine Particle (PM_{2.5}) Designations Home”.

Disponible en: <http://www3.epa.gov/pm/designations/basicinfo.htm>

(Consultado el 25 de octubre del 2015)

USEPA (2015 c) U.S. Environmental Protection Agency. “Factor Information Retrieval System (WEDFIRE)”.

Disponible en: <http://cfpub.epa.gov/webfire/>

(Consultado el 24 de septiembre 2015)

USEPA (2015 d) U.S. Environmental Protection Agency. “Emission Factors AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors”.

Disponible: <http://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/>

(Consultado el 21 de agosto del 2015)

USEPA (2015 e). U.S. Environmental Protection Agency. AP-42. Capítulo 13. Sección 13.2 “Fugitive Dust Sources”.

USEPA (2015 f). U.S. Environmental Protection Agency. AP-42. Capítulo 13. Sección 13.2.4. “Aggregate Handling and Storage Piles”.

USEPA (2015 g). U.S. Environmental Protection Agency. “Particulate Matter”.

Disponible en: <https://www3.epa.gov/airquality/particlepollution/basic.html>

(Consultado el 20 de octubre del 2015)

USEPA (2015 h). U.S. Environmental Protection Agency. AP-42. “Introduction”.

USEPA (2015 i). U.S. Environmental Protection Agency. AP-42. Capítulo 9. Sección 9.9.1. “Grain Elevators and Processes”.

USEPA (2016) U.S. Environmental Protection Agency. “Air Pollution Emissions Overview”.

Disponible en: <http://www3.epa.gov/airquality/emissns.html>

(Consultado el 15 de febrero 2016)

WHO/Europe (2005). World Health Organization Europe. “Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide,” p. 10, 218.

Wilson, R., Spengler J. (1996). Particles in our air. Harvard University Press, USA.

ANEXO 1

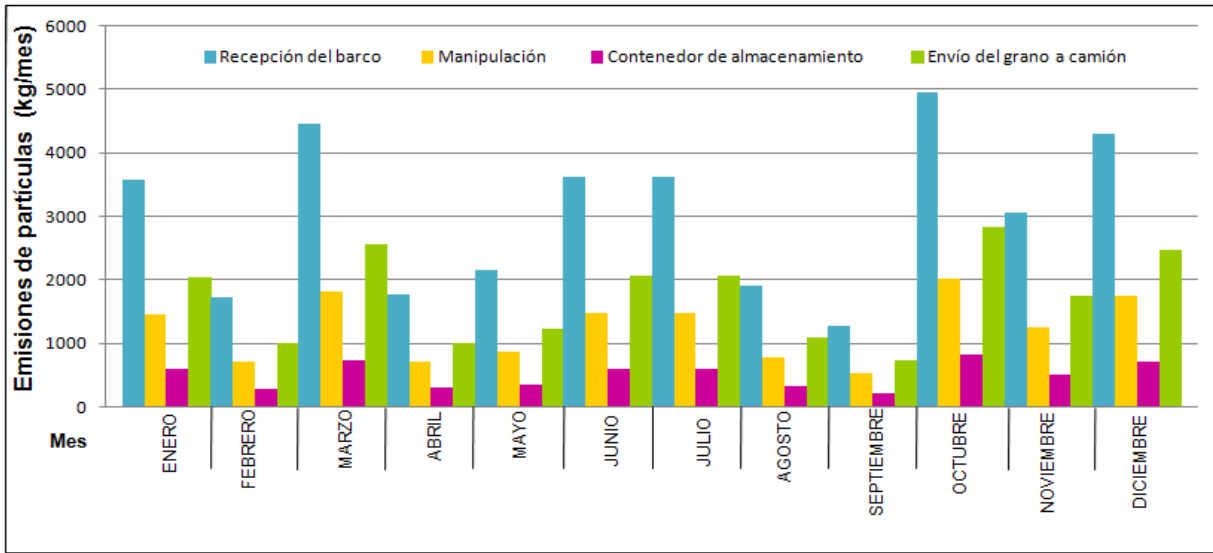
Figuras de emisiones de partículas fugitivas emitidas durante las actividades de manejo de granel agrícola en los años 2014 y 2015.

Anexo 1

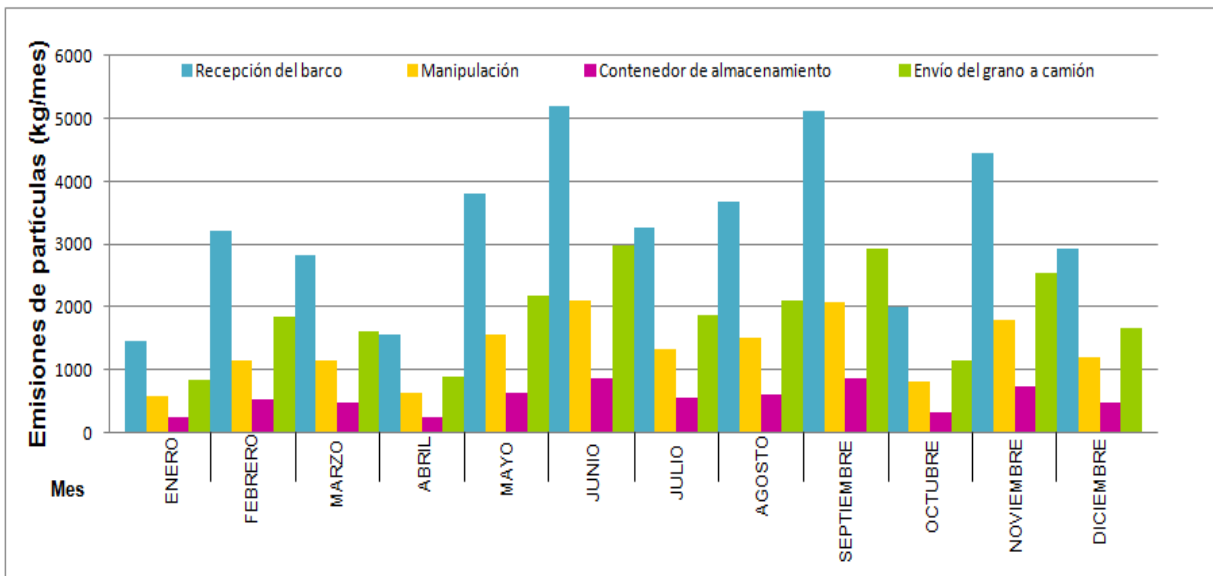
A continuación se presentan las emisiones fugitivas de partículas (partículas, PM₁₀ y PM_{2.5}) por las actividades (recepción, manipulación, almacenamiento y envío) de manejo de todos los granos del recinto portuario de Veracruz durante los años 2014 y 2015.

*En los casos en que no se presentan las cantidades manejadas y emisiones, es debido a que no hubo manejo del material en este mes

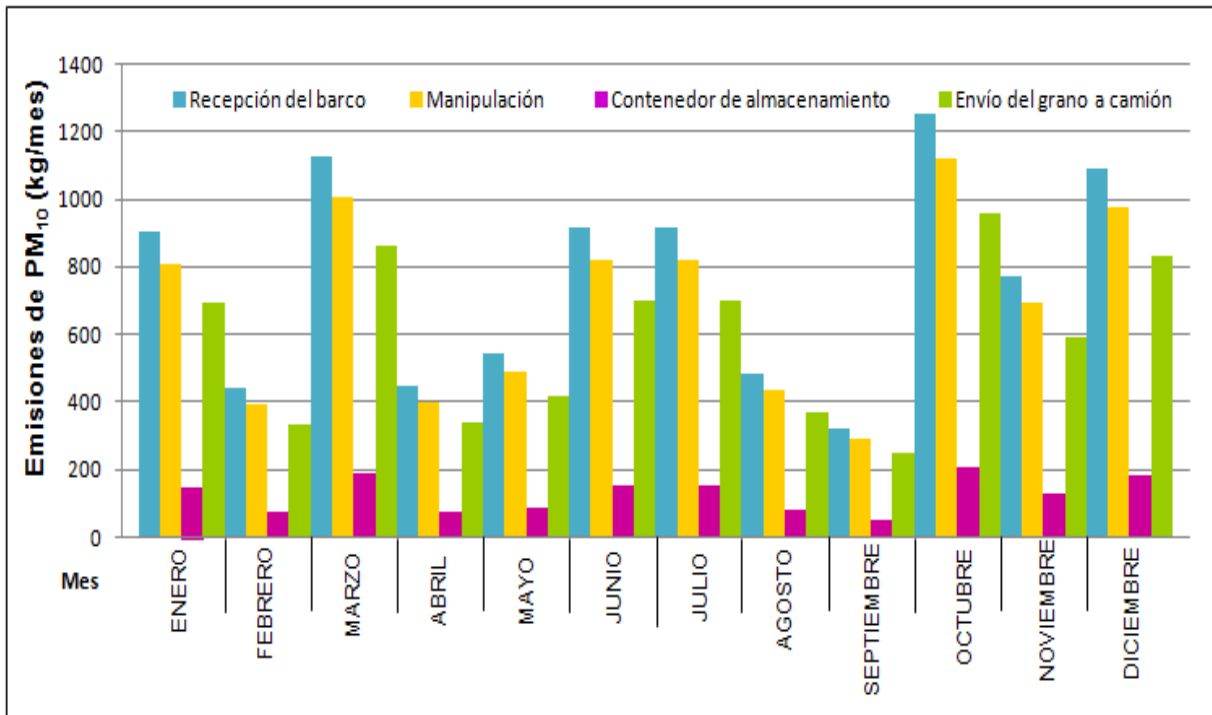
Arroz



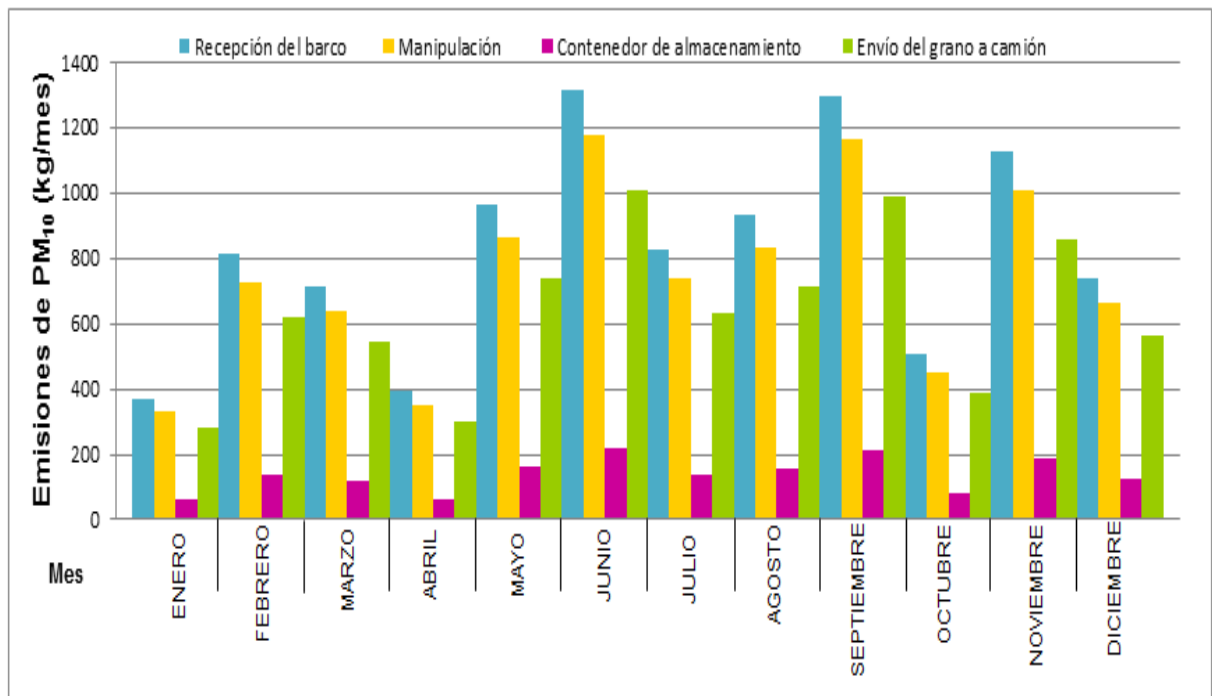
Emisiones de partículas por actividades de manejo de arroz en el 2014



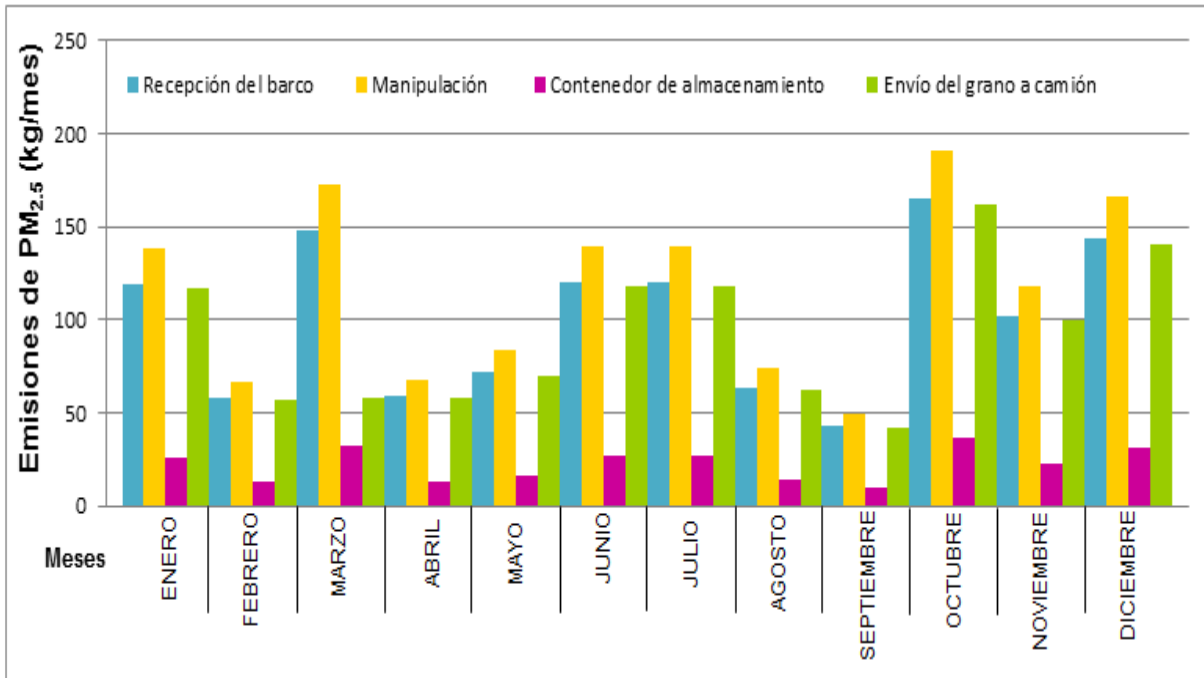
Emisiones de partículas por actividades de manejo de arroz en el 2015



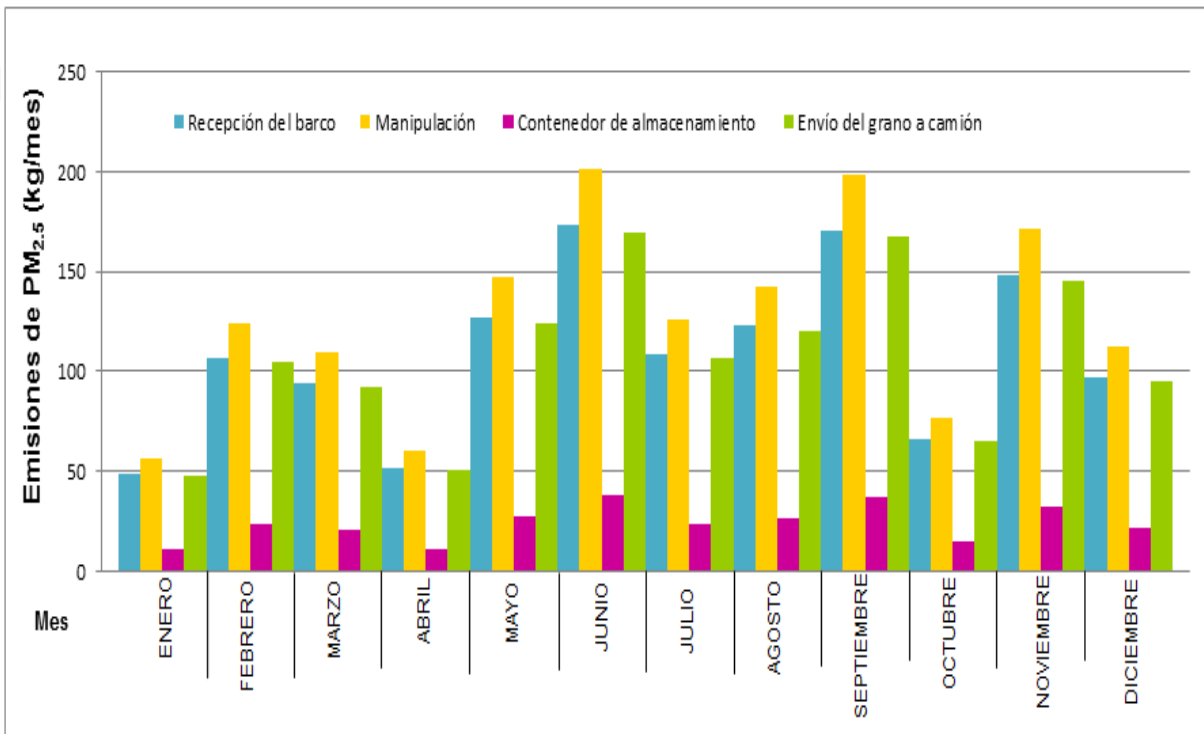
Emissiones de PM₁₀ por actividades de manejo de arroz en el 2014



Emissiones de PM₁₀ por actividades de manejo de arroz en el 2015

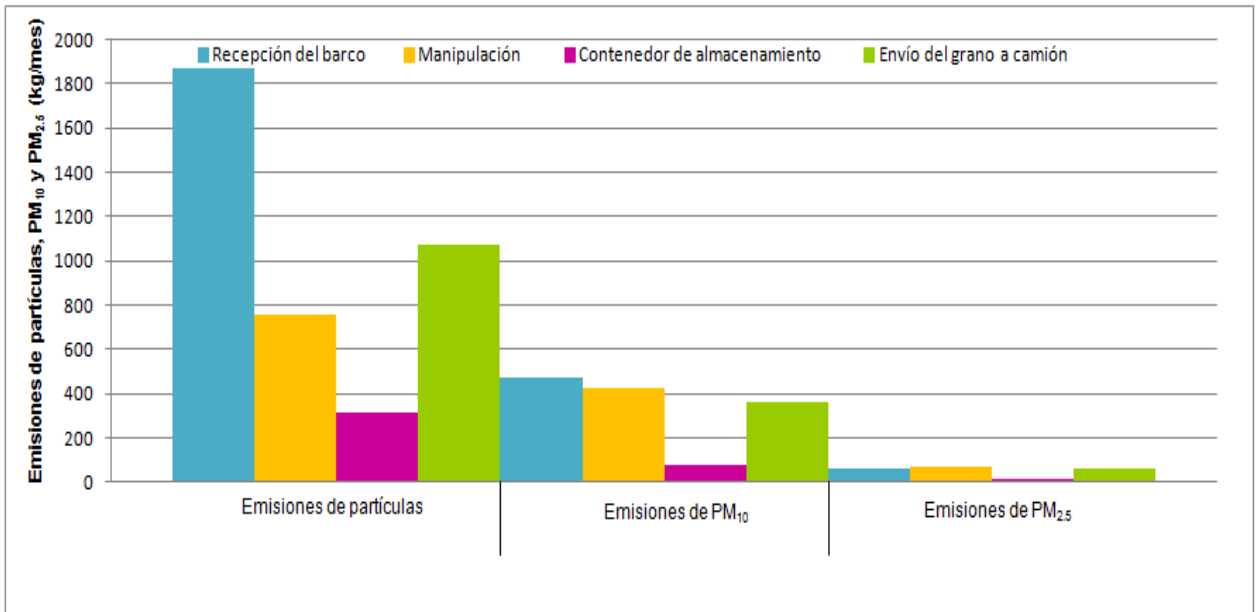


Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de arroz en el 2014

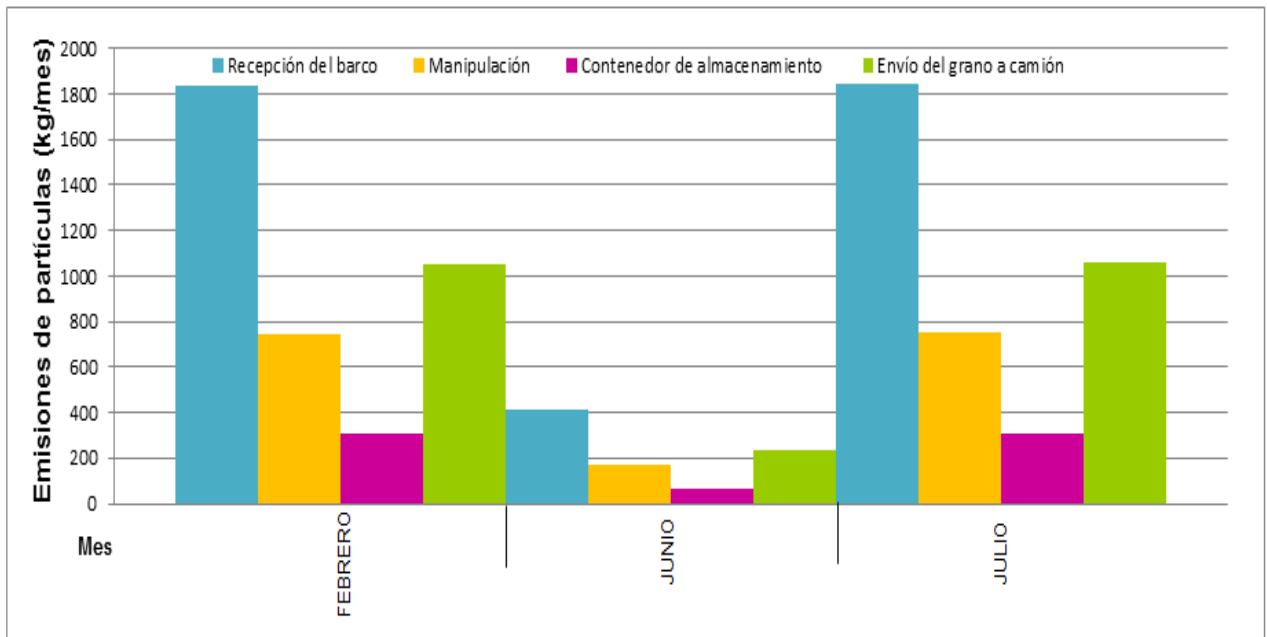


Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de arroz en el 2015

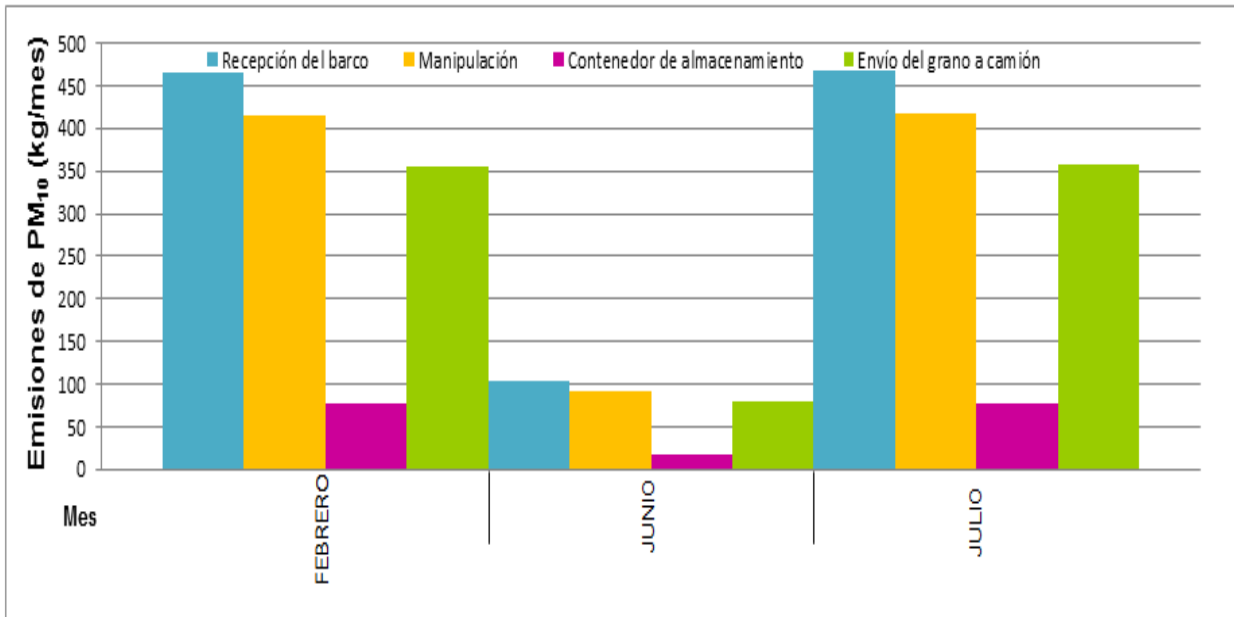
Gluten de maíz



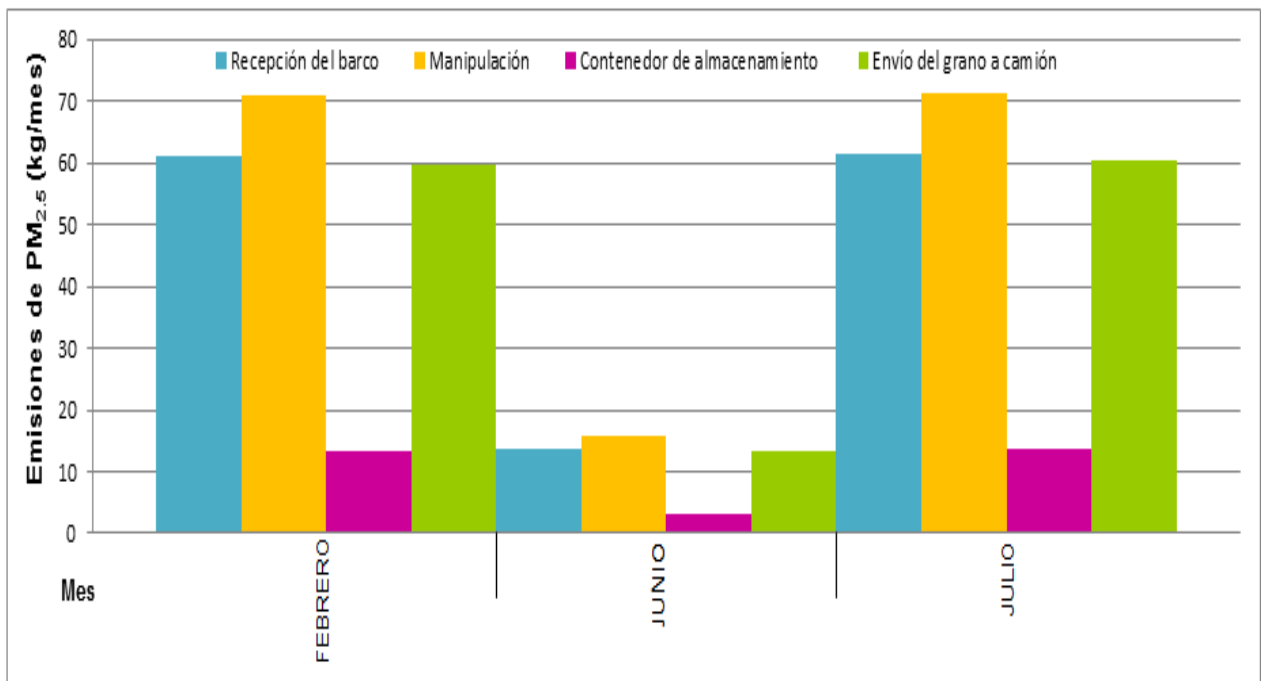
Emissiones de partículas, PM₁₀ y PM_{2.5} por actividades de manejo de gluten de maíz en marzo del 2014



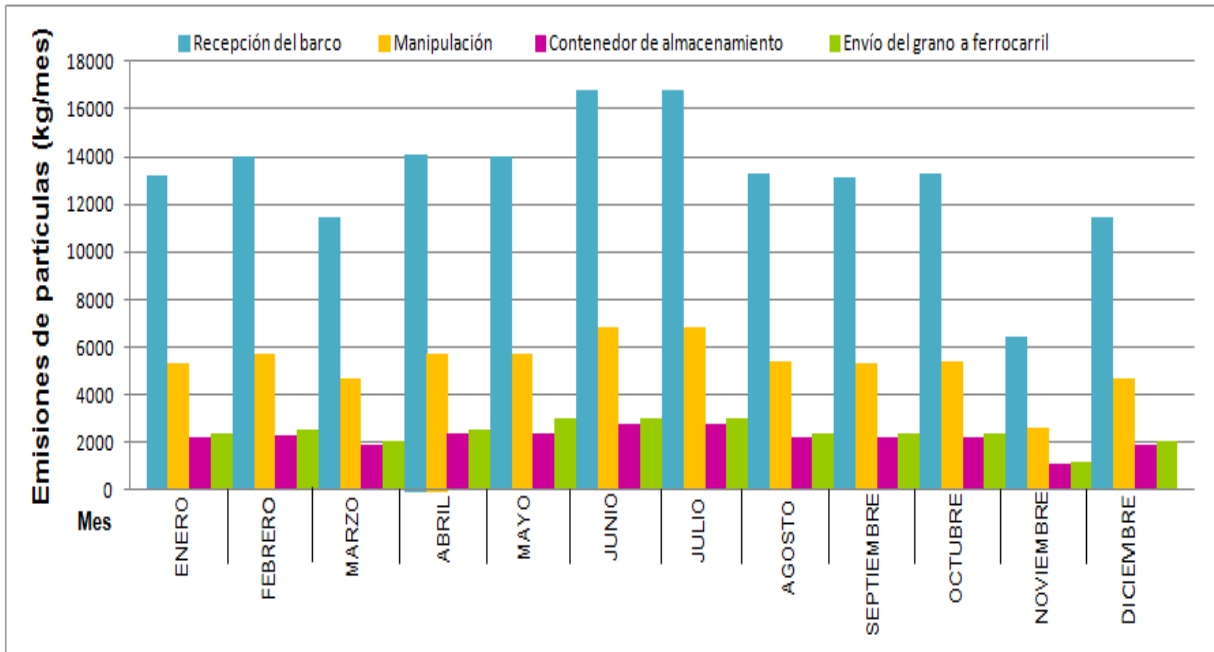
Emissiones de partículas por actividades de manejo de gluten de maíz en el 2015



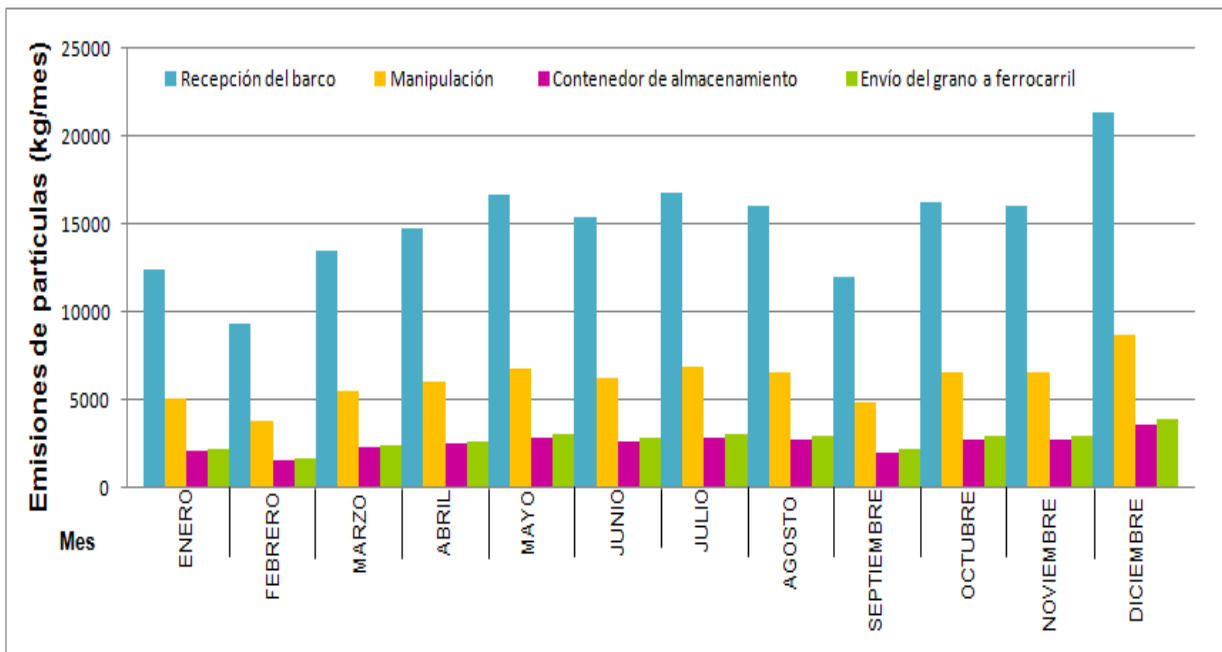
Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de gluten de maíz en el 2015



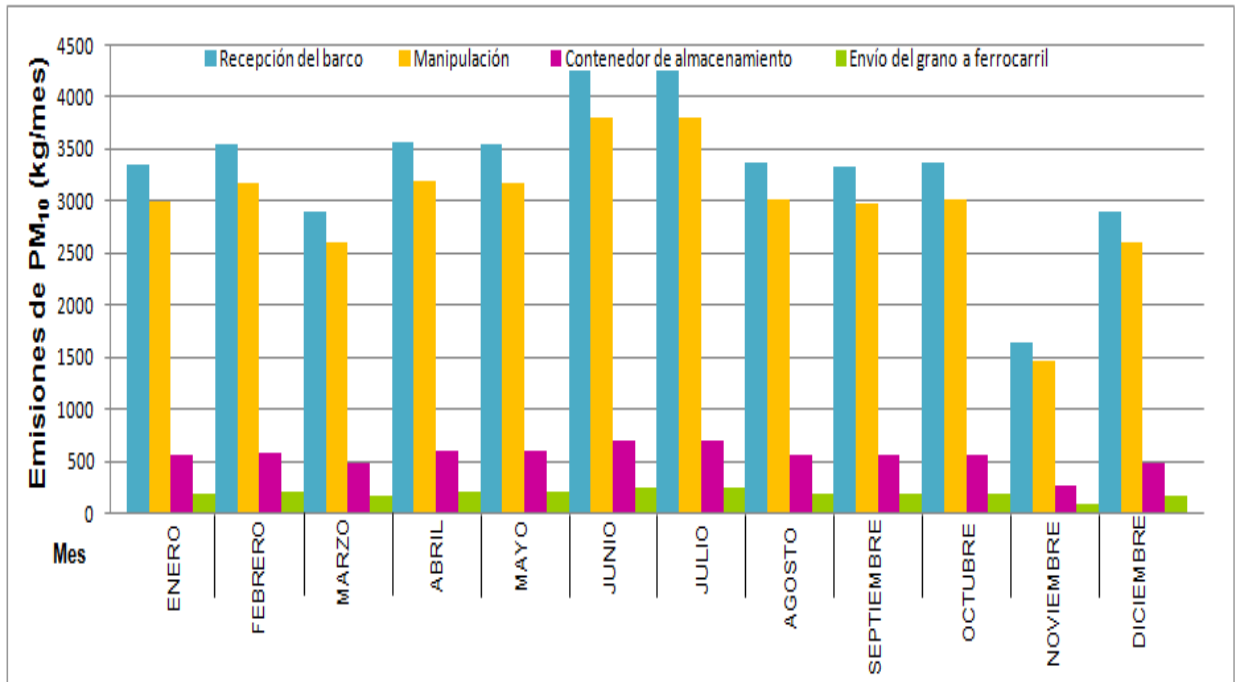
Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de gluten de maíz en el 2015



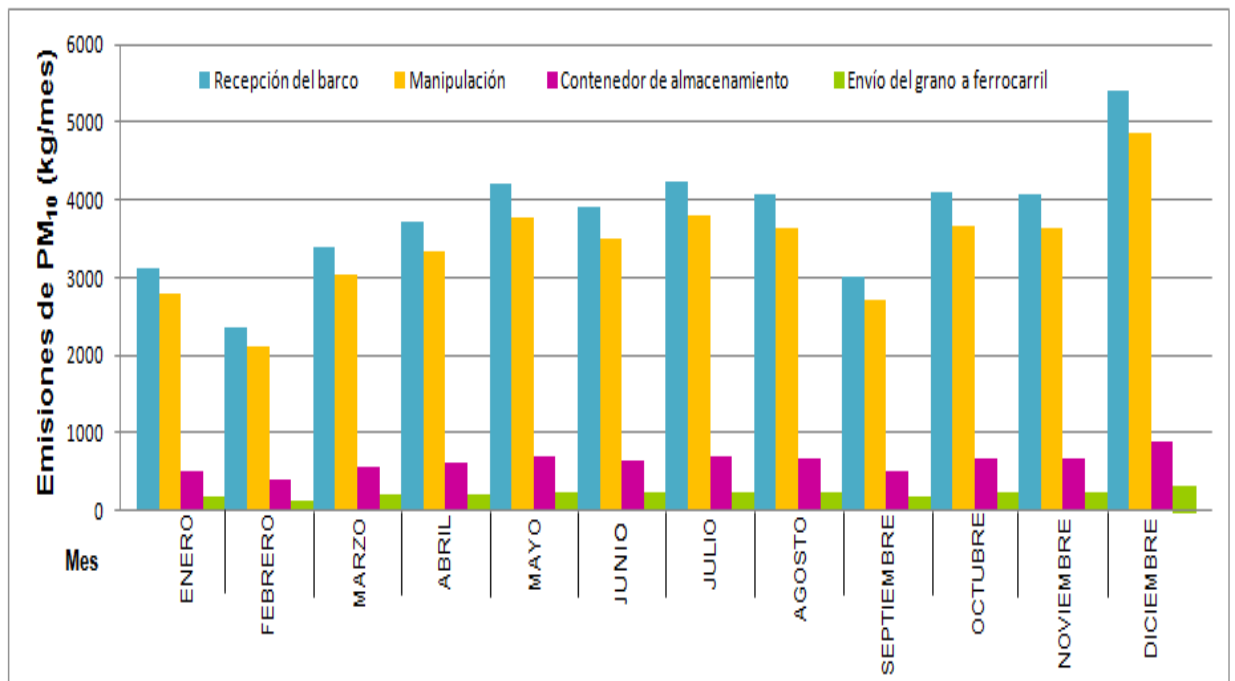
Emisiones de partículas por actividades de manejo de maíz en el 2014



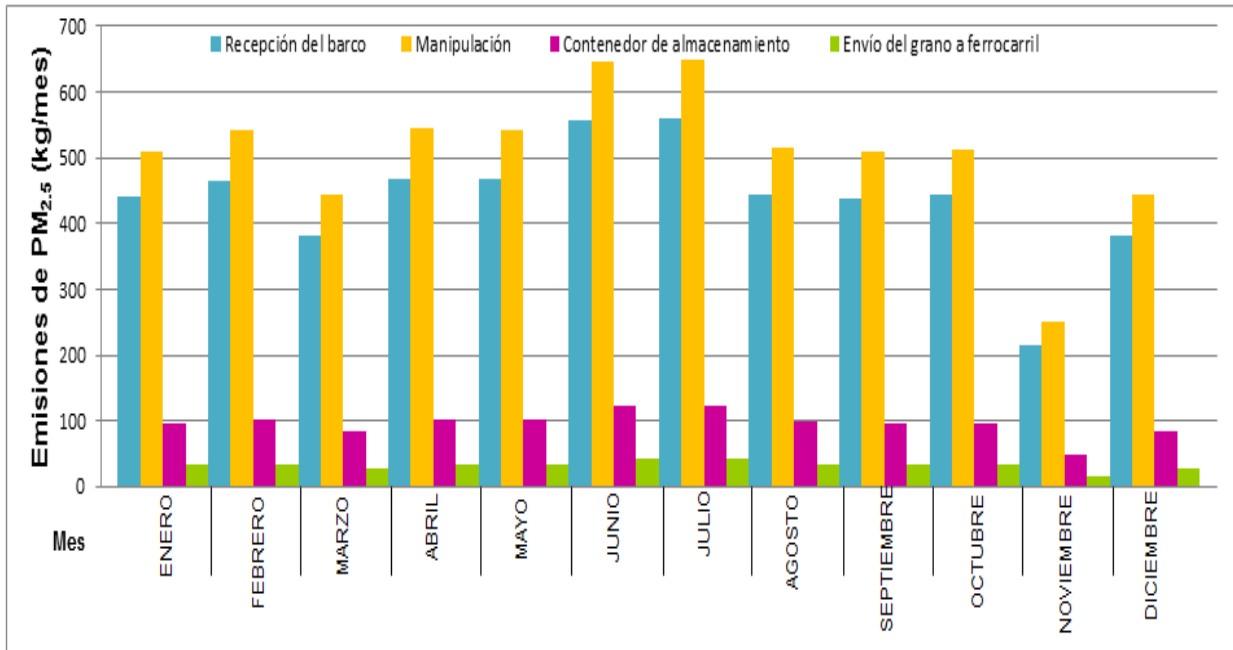
Emisiones de partículas por actividades de manejo de maíz en el 2015



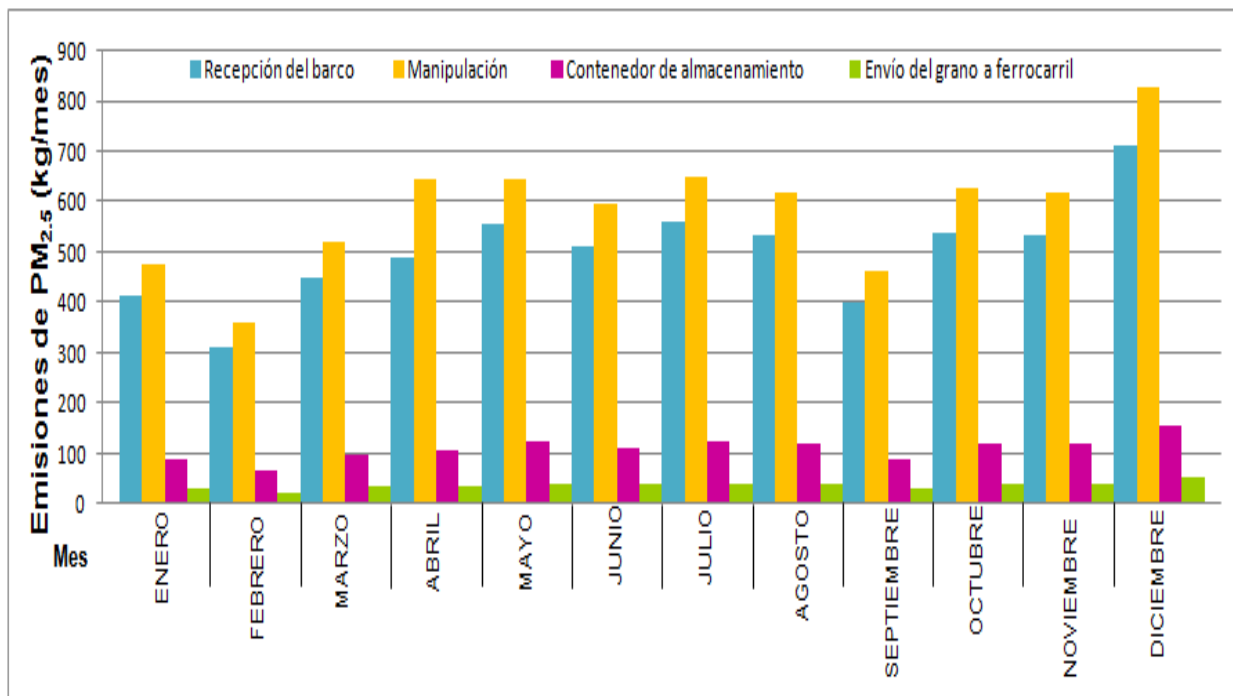
Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de maíz en el 2014



Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de maíz en el 2015

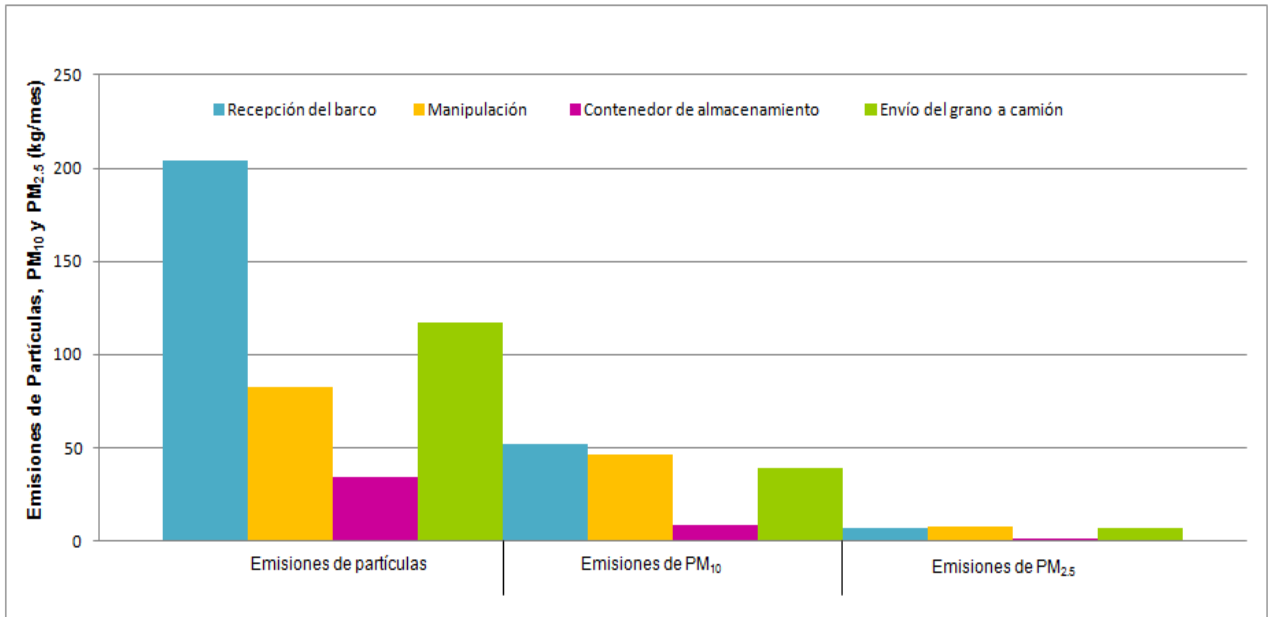


Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de maíz en el 2014



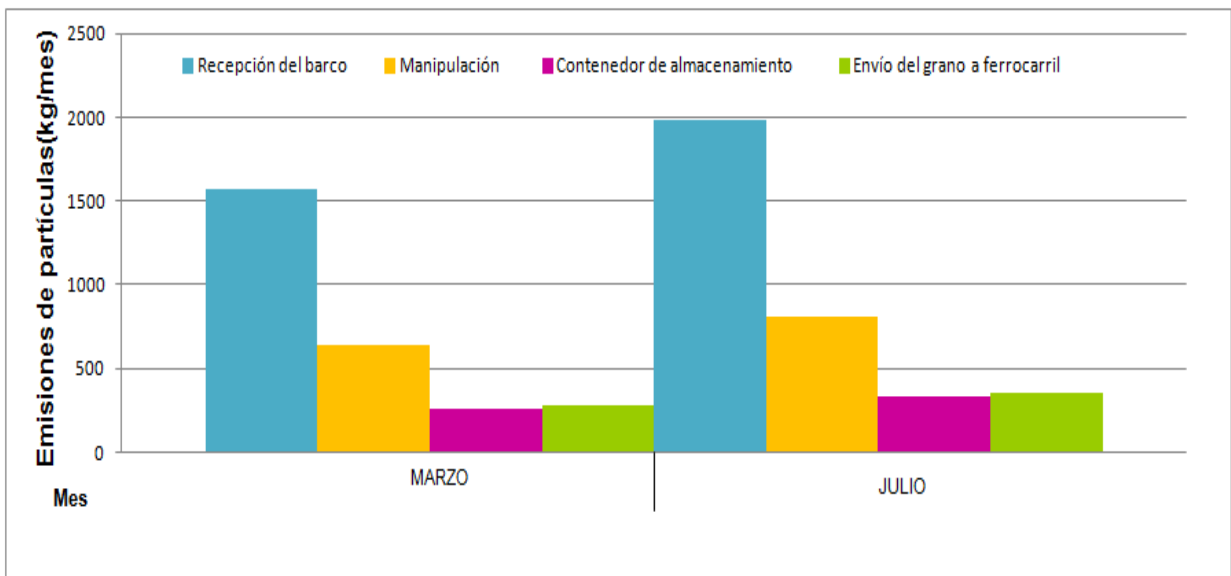
Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de maíz en el 2015

Grano seco

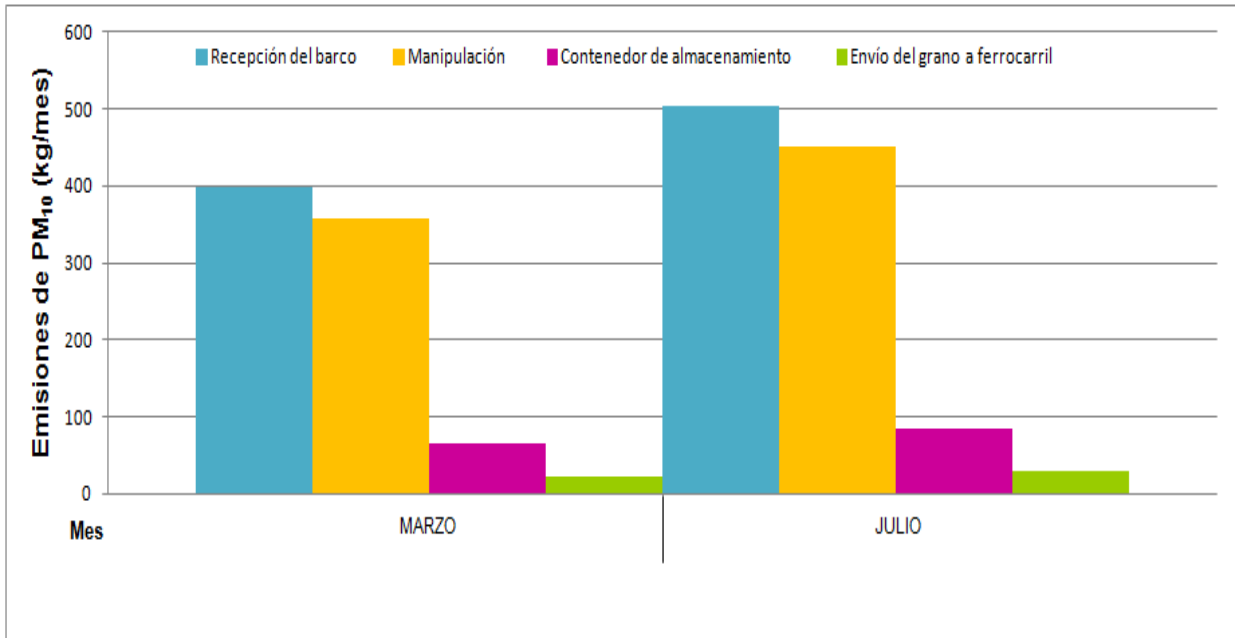


Emissiones de partículas, PM₁₀ y PM_{2.5} por actividades de manejo de grano seco en junio del 2014

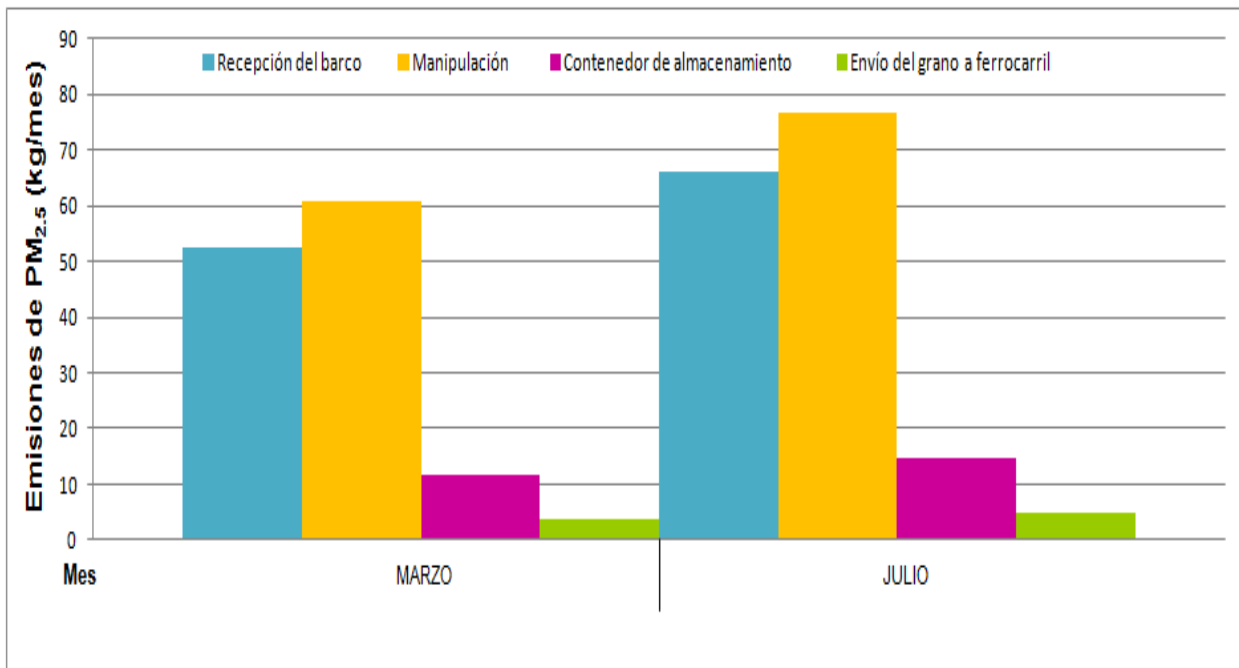
Cebada



Emissiones de partículas por actividades de manejo de cebada en el 2015

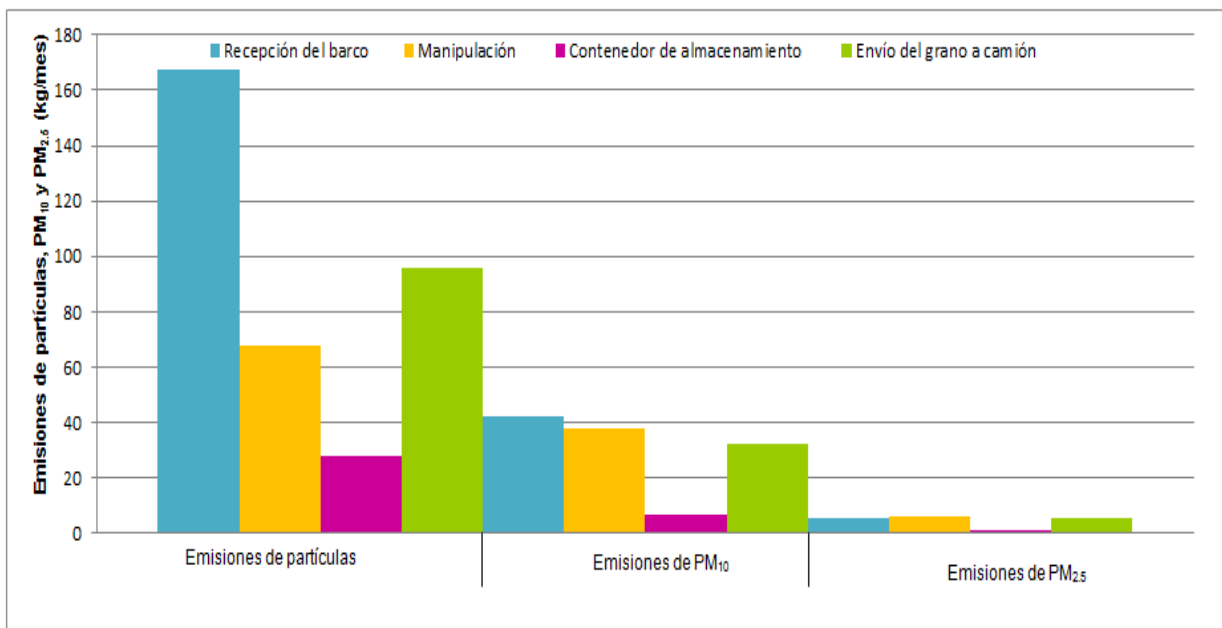


Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de cebada en el 2015



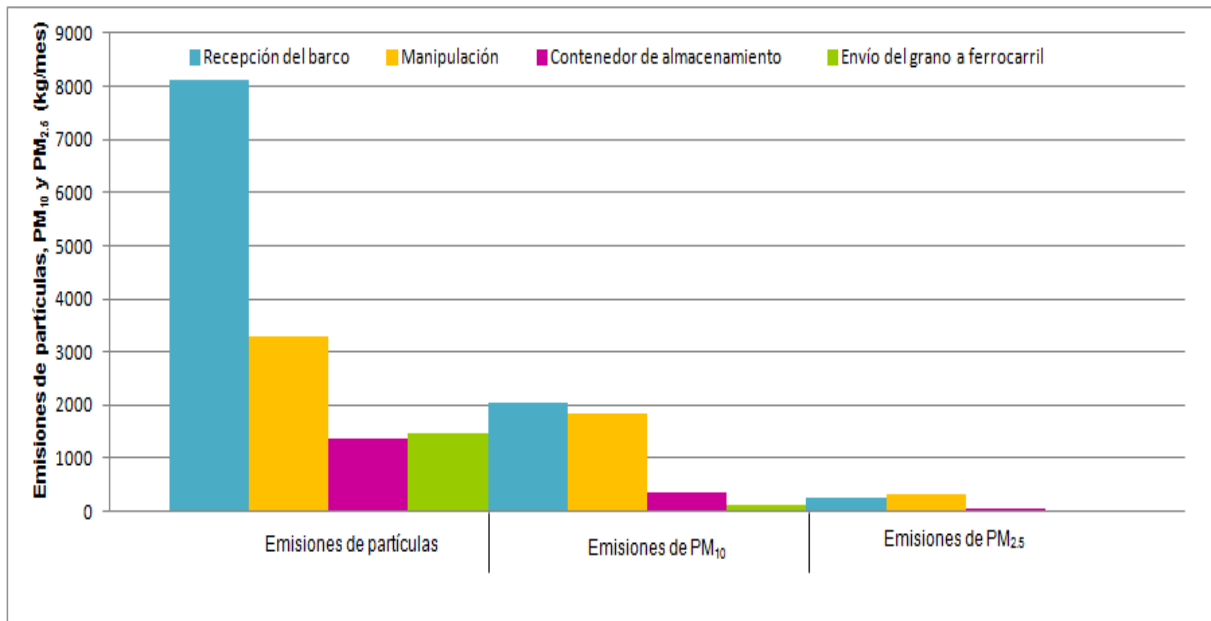
Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de cebada en el 2015

Maíz triturado



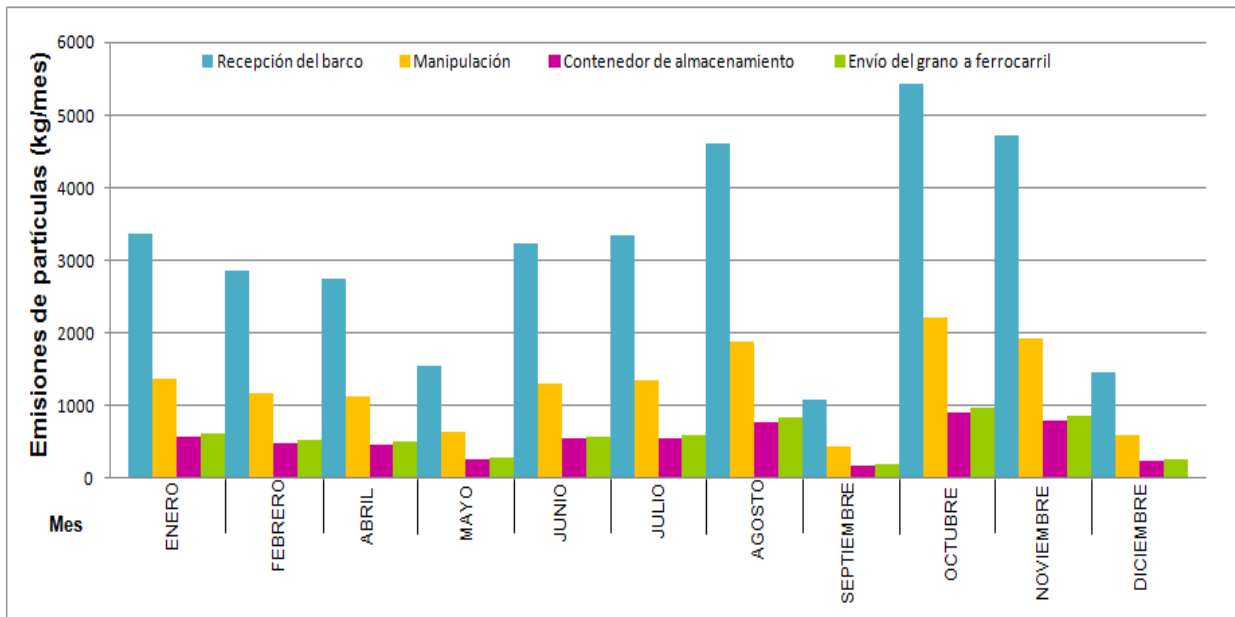
Emissiones de partículas, PM₁₀ y PM_{2.5} por actividades de manejo de maíz triturado en junio del 2014

Sorgo

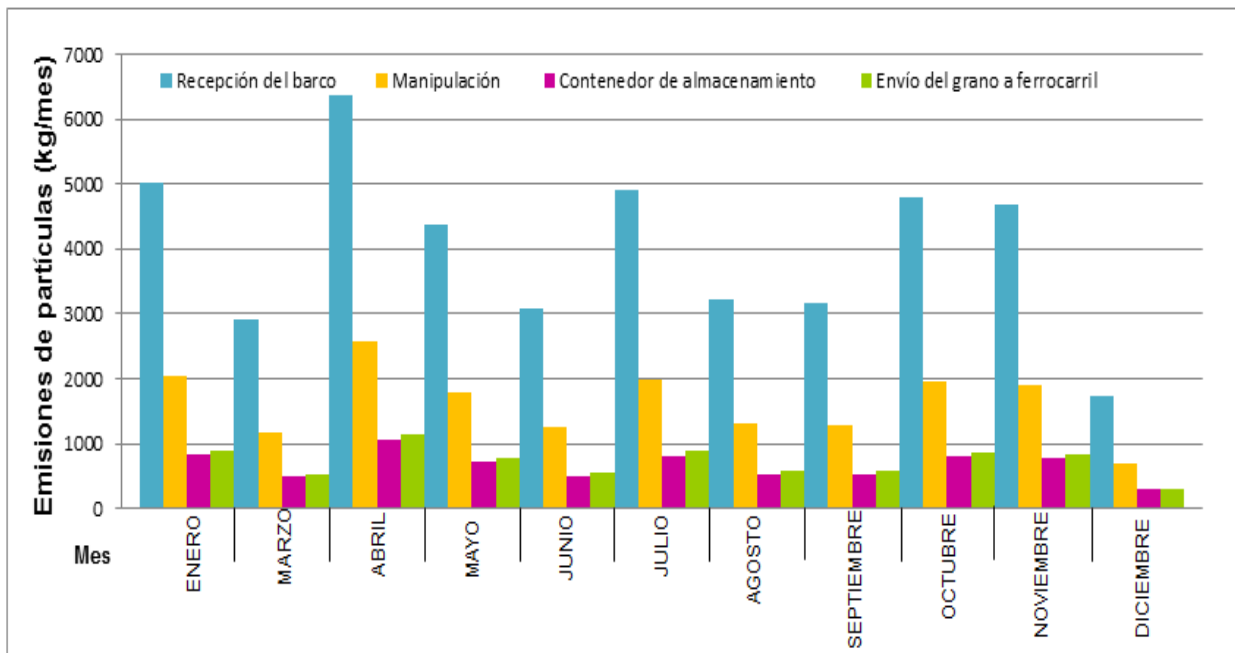


Emissiones de partículas, PM₁₀ y PM_{2.5} por actividades de manejo de sorgo en enero del 2014

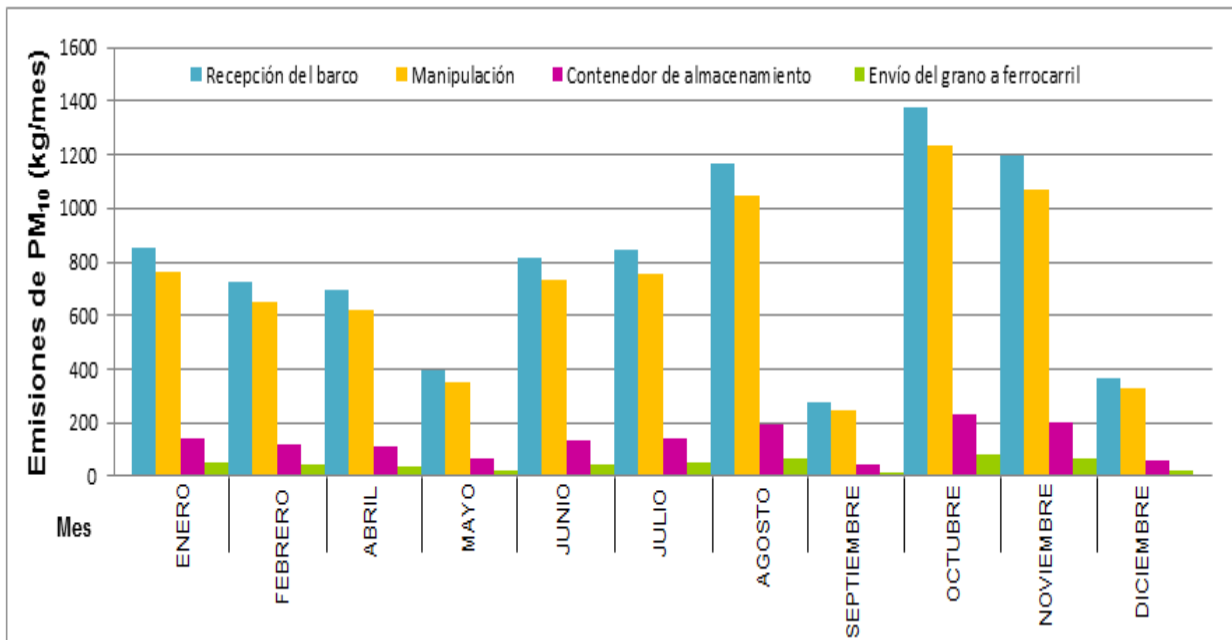
Semilla de canola



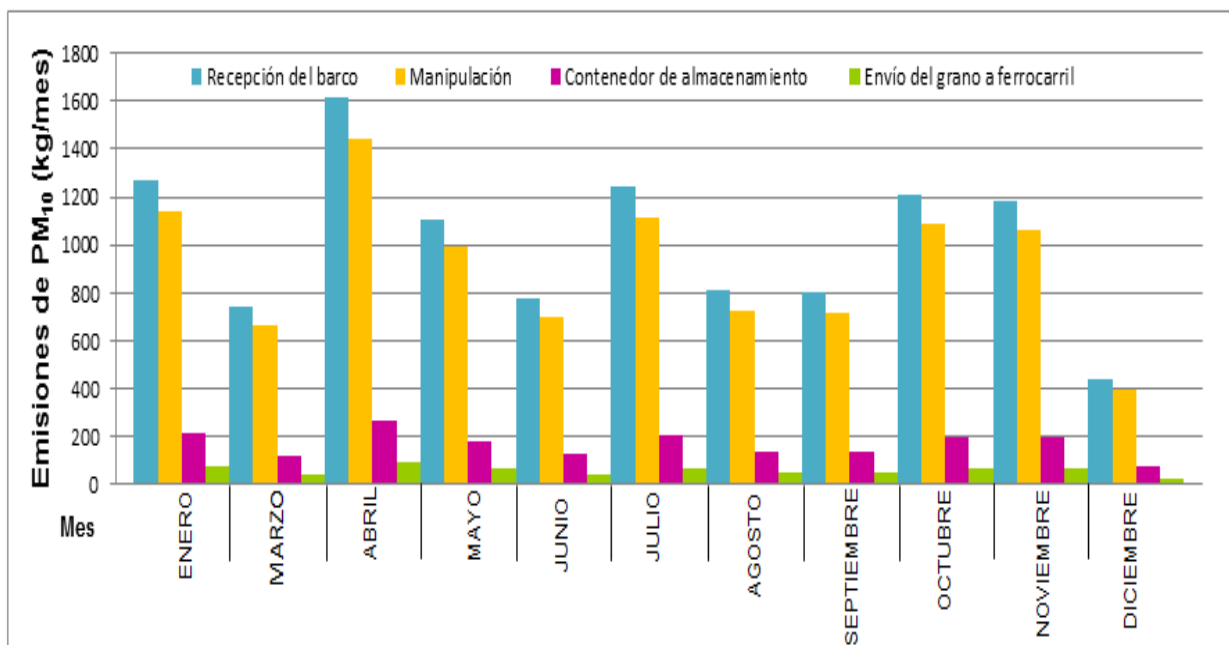
Emisiones de partículas por actividades de manejo de semilla de canola en el 2014



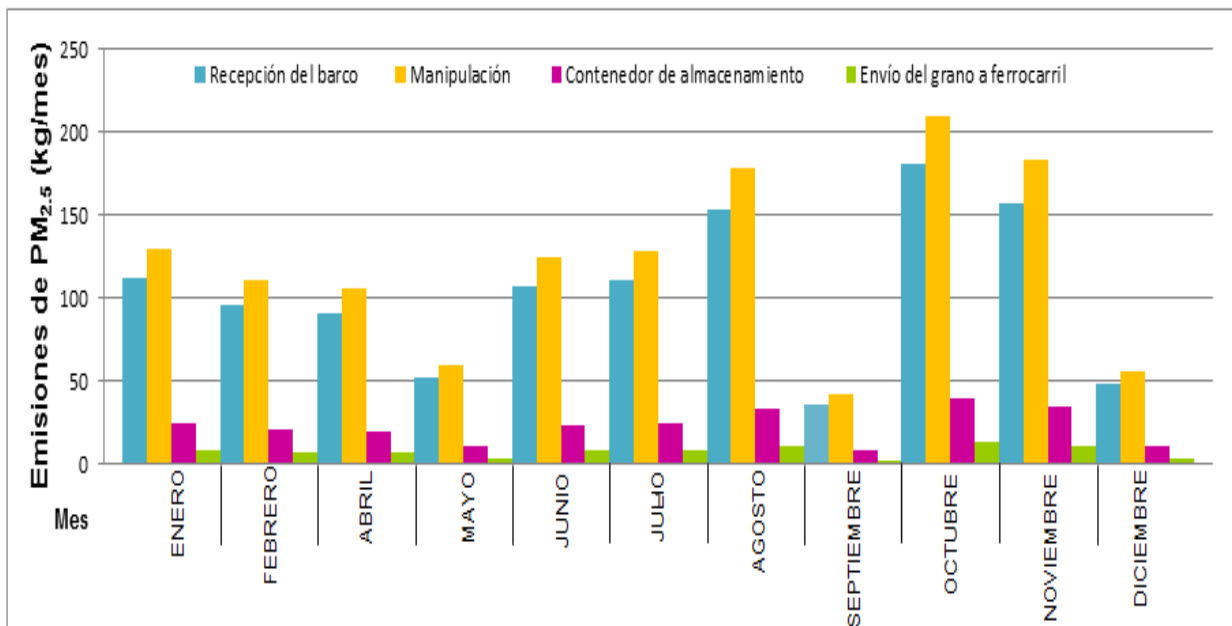
Emisiones de partículas por actividades de manejo de semilla de canola en el 2015



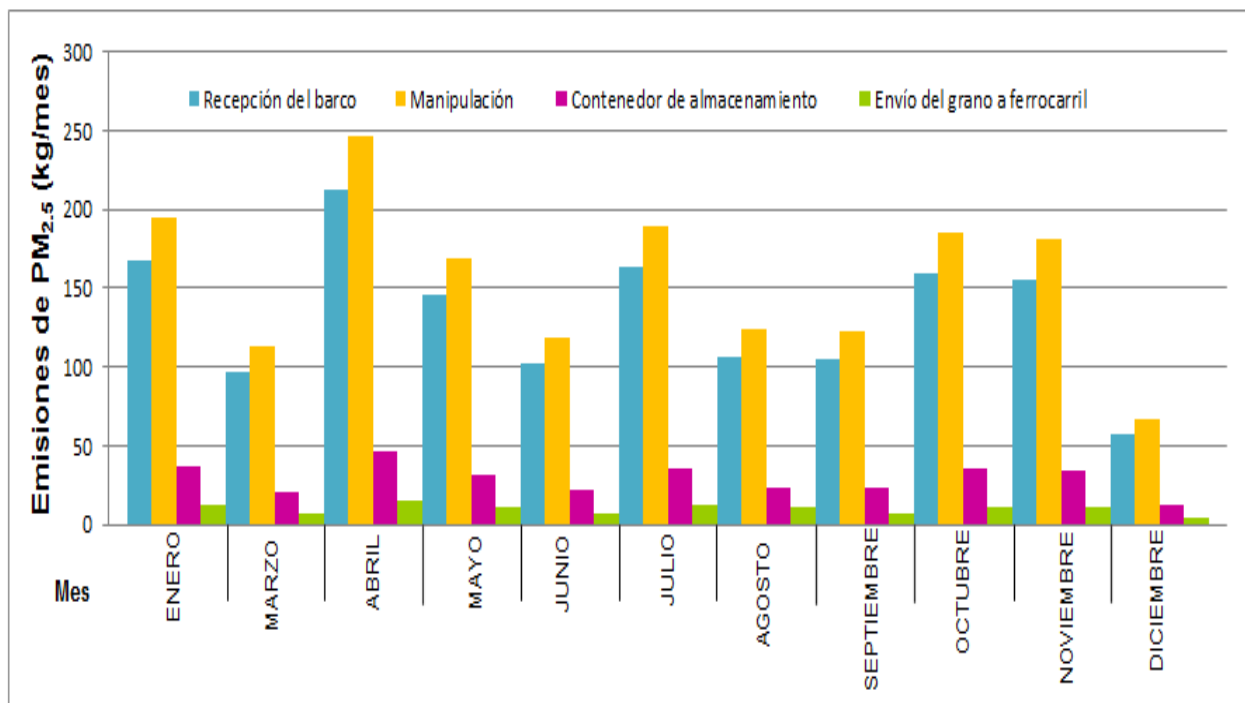
Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de semilla de canola en el 2014



Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de semilla de canola en el 2015

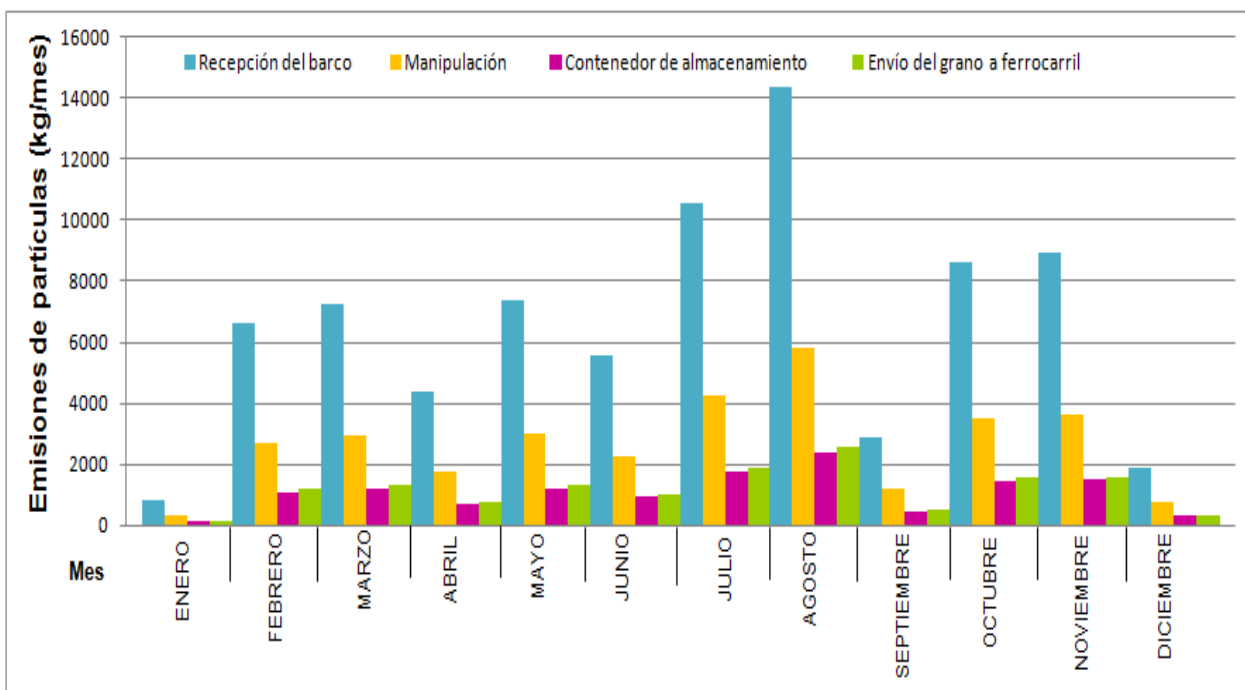


Emissiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de semilla de canola en el 2014

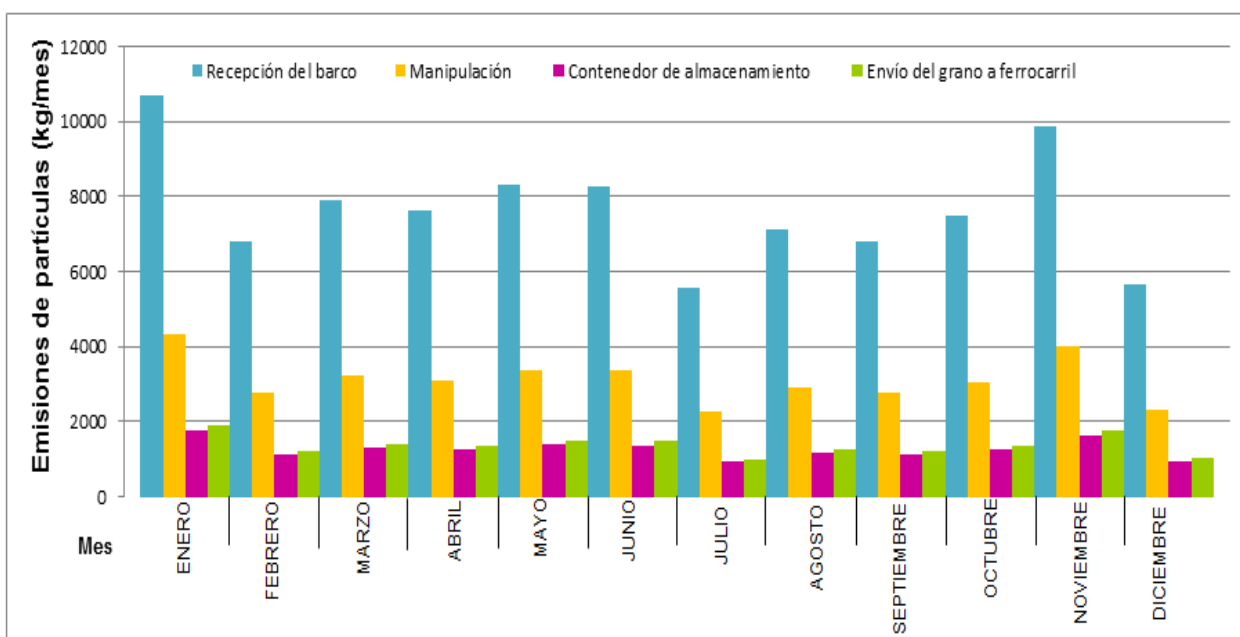


Emissiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de semilla de canola en el 2015

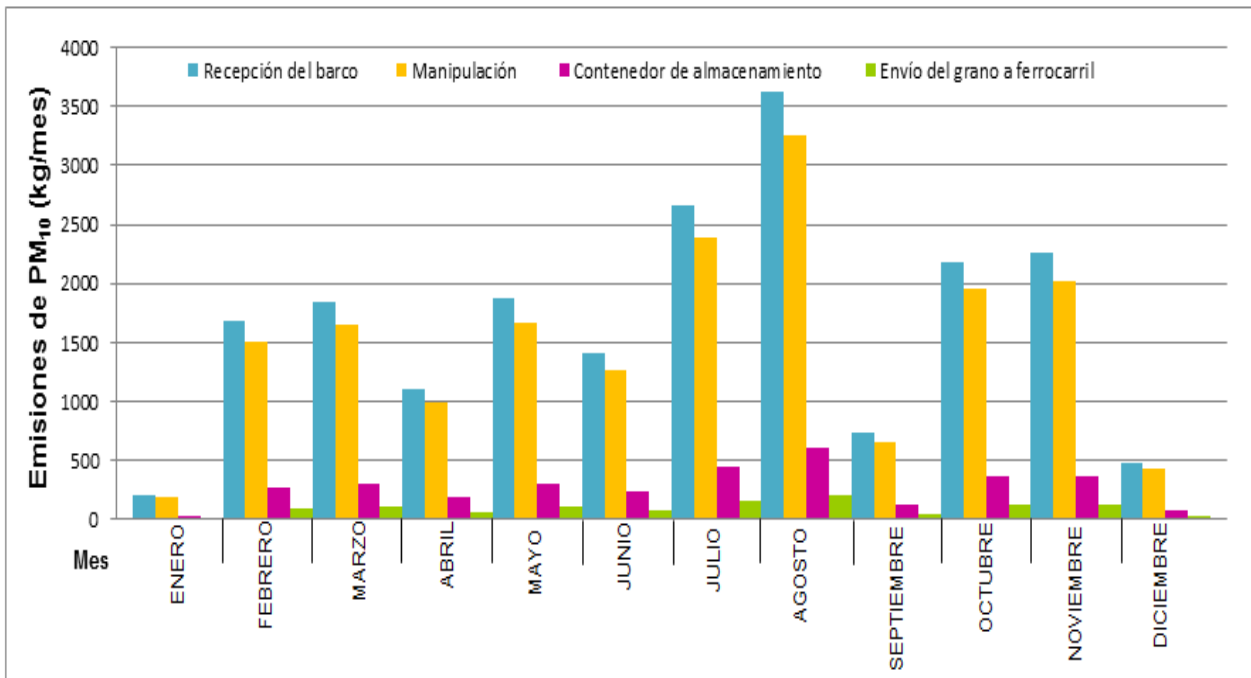
Soya



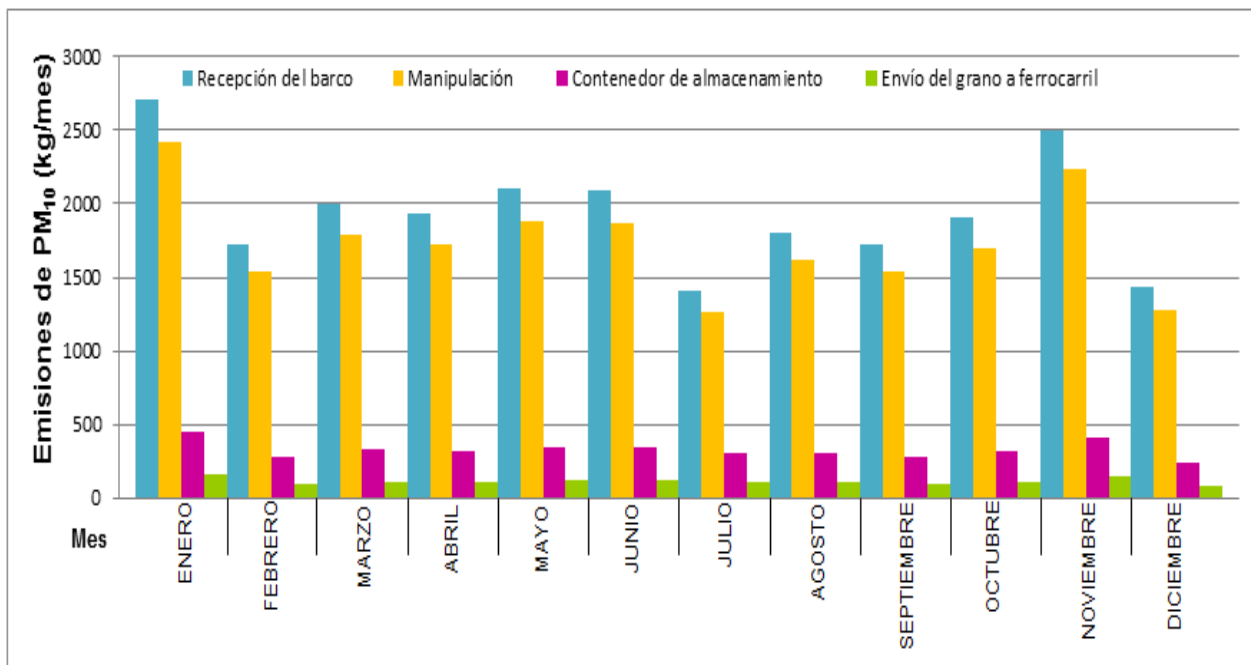
Emisiones de partículas por actividades de manejo de soya en el 2014



Emisiones de partículas por actividades de manejo de soya en el 2015

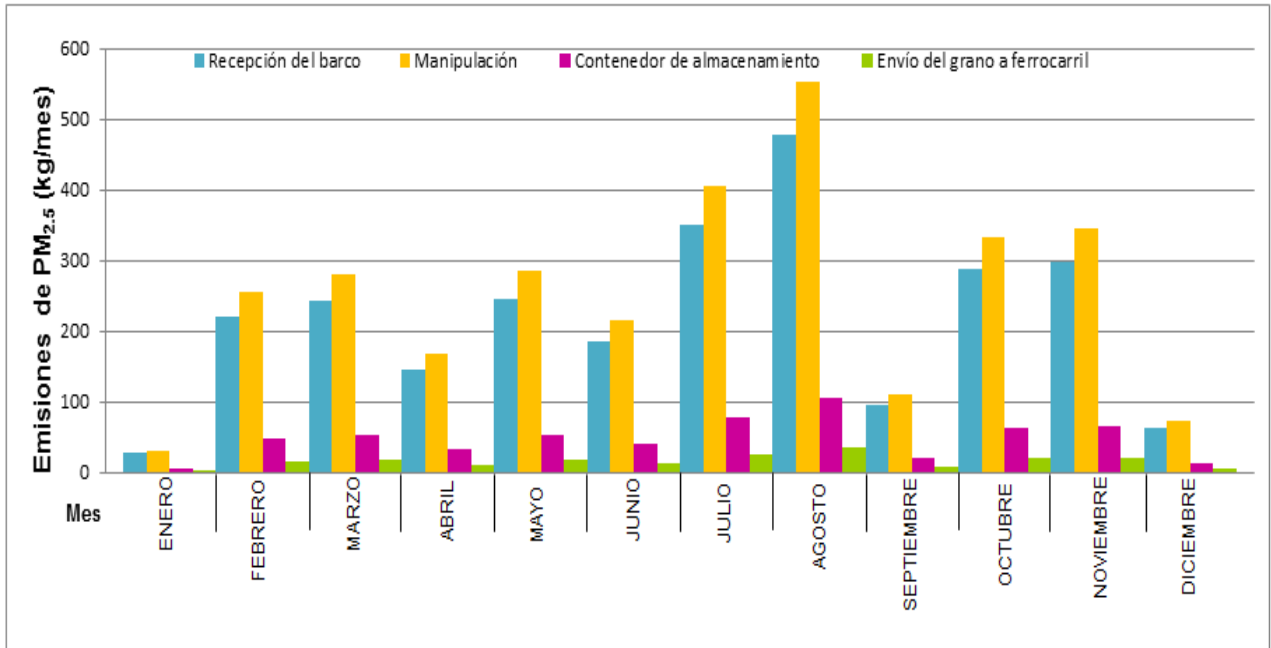


Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de soya en el 2014

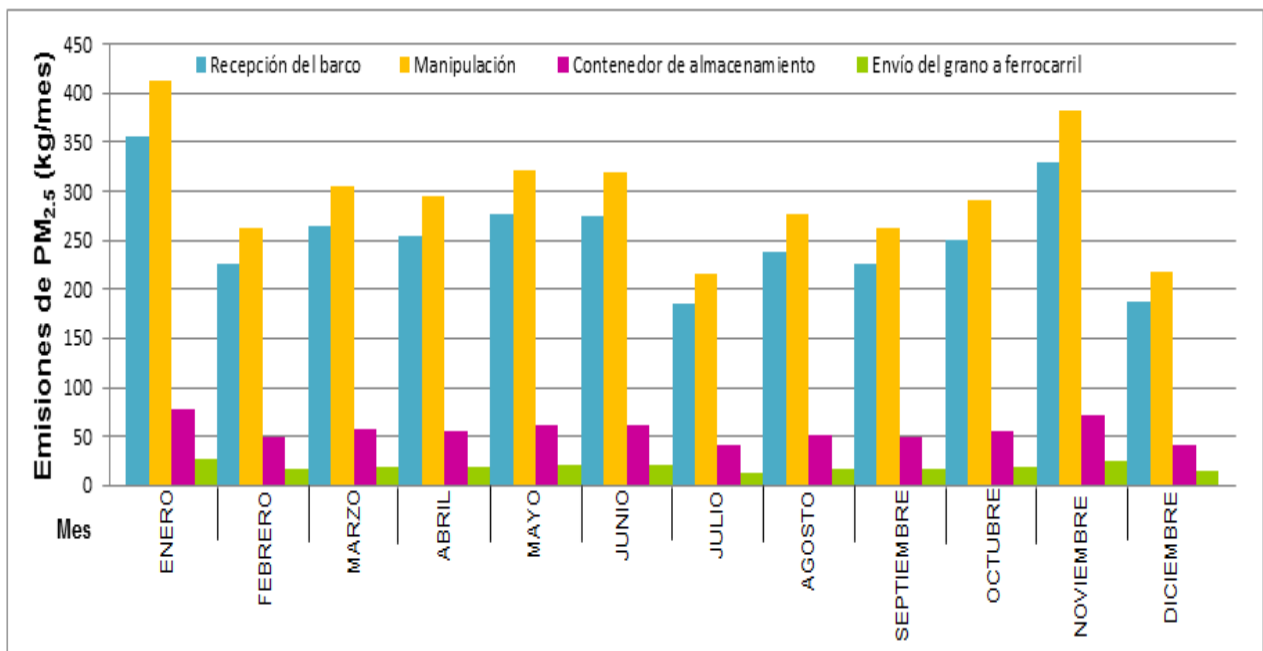


Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de soya en el 2015

Anexo 1

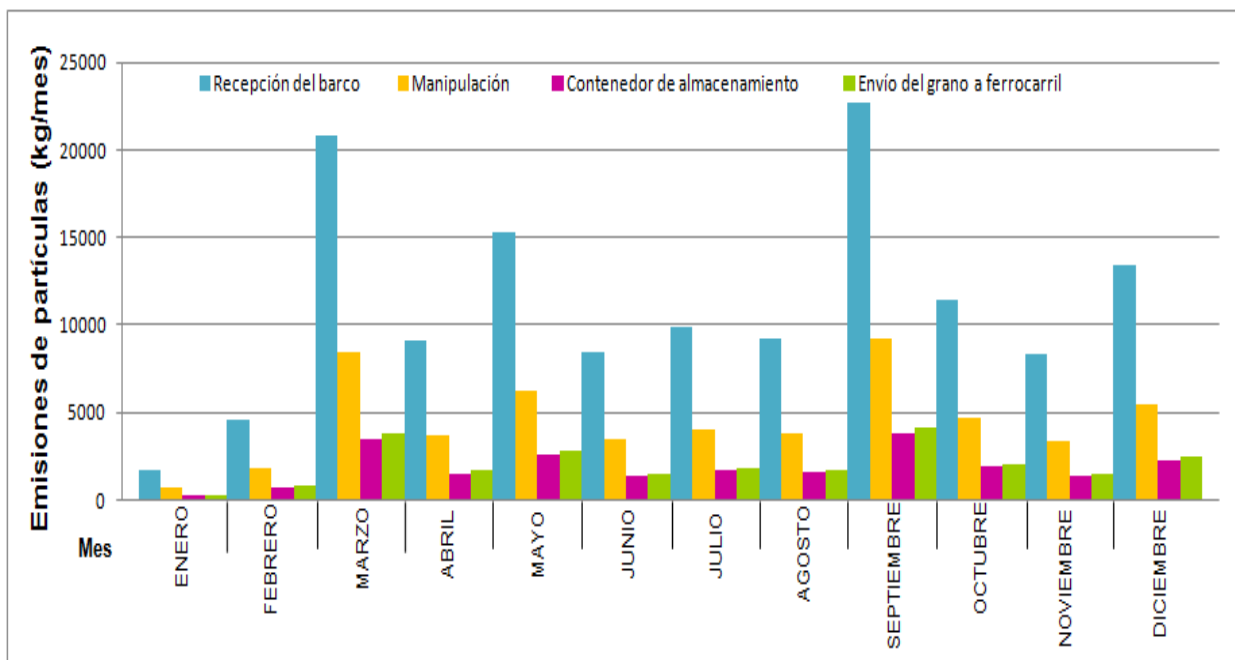


Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de soya en el 2014

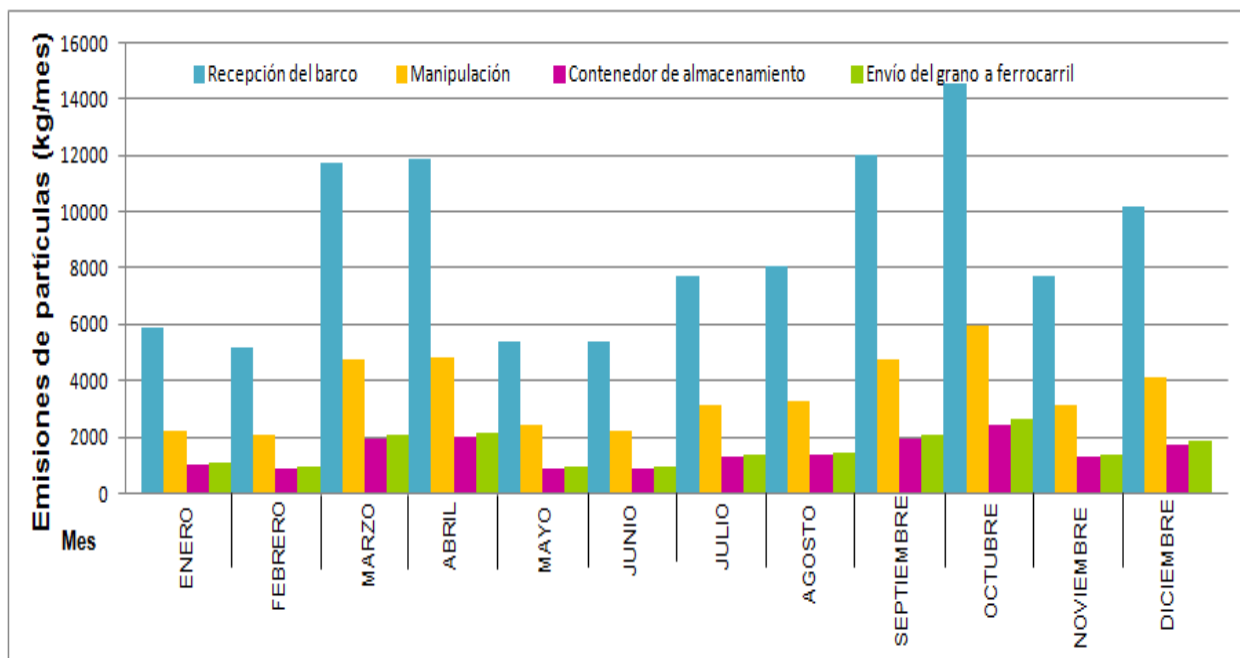


Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de soya en el 2015

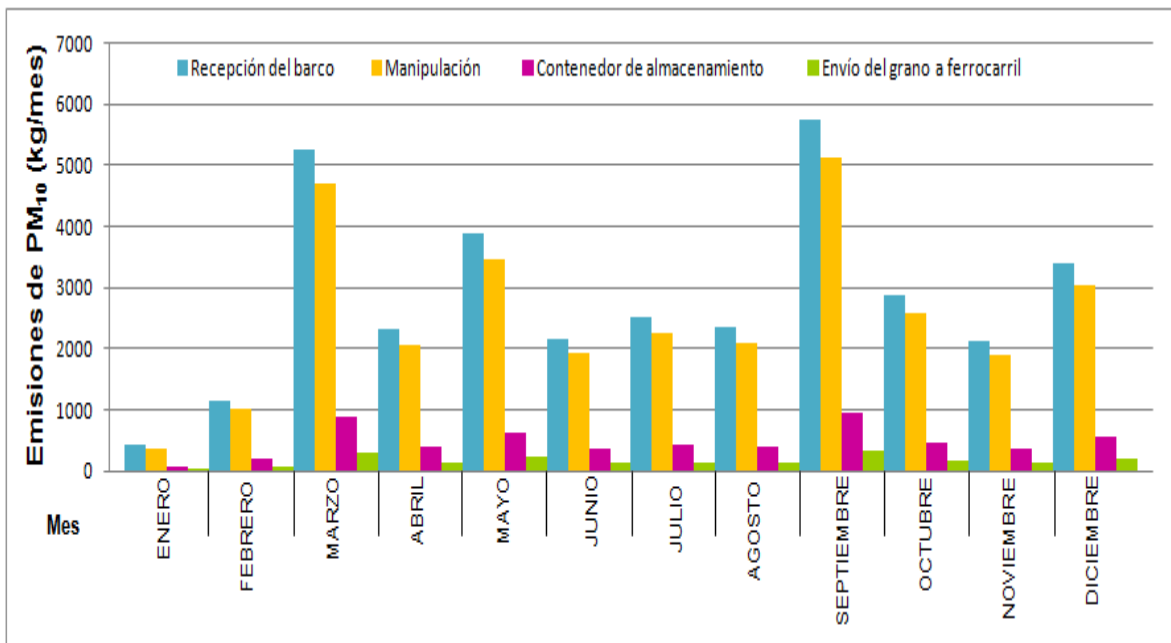
Trigo



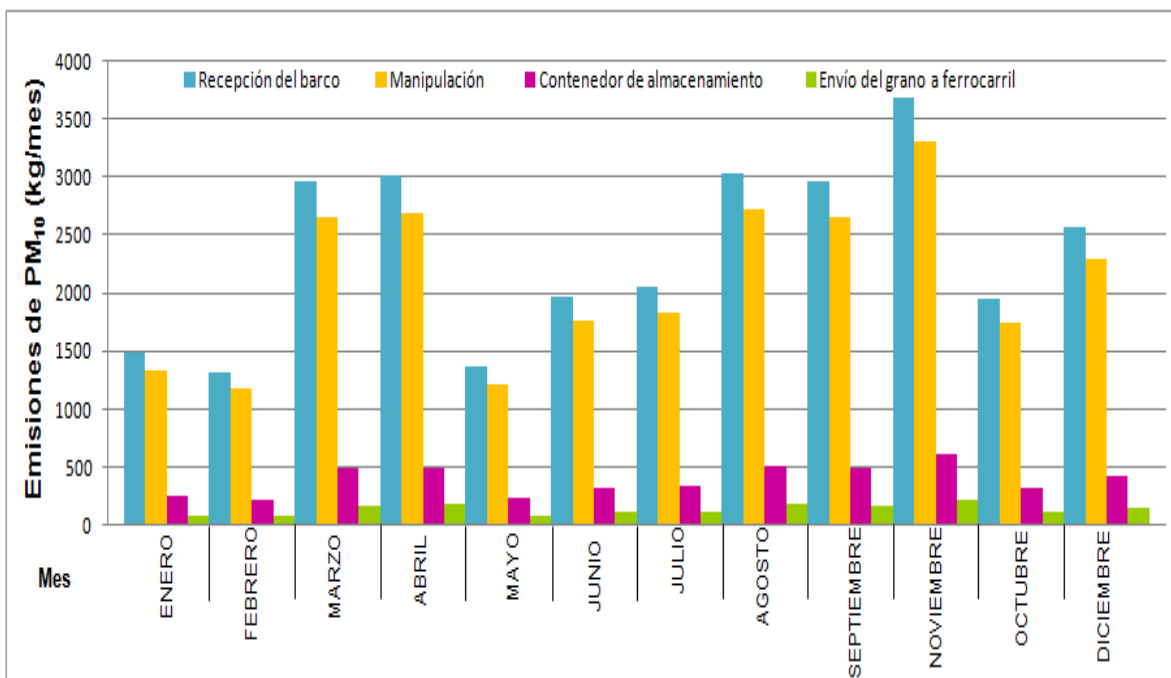
Emisiones de partículas por actividades de manejo de trigo en el 2014



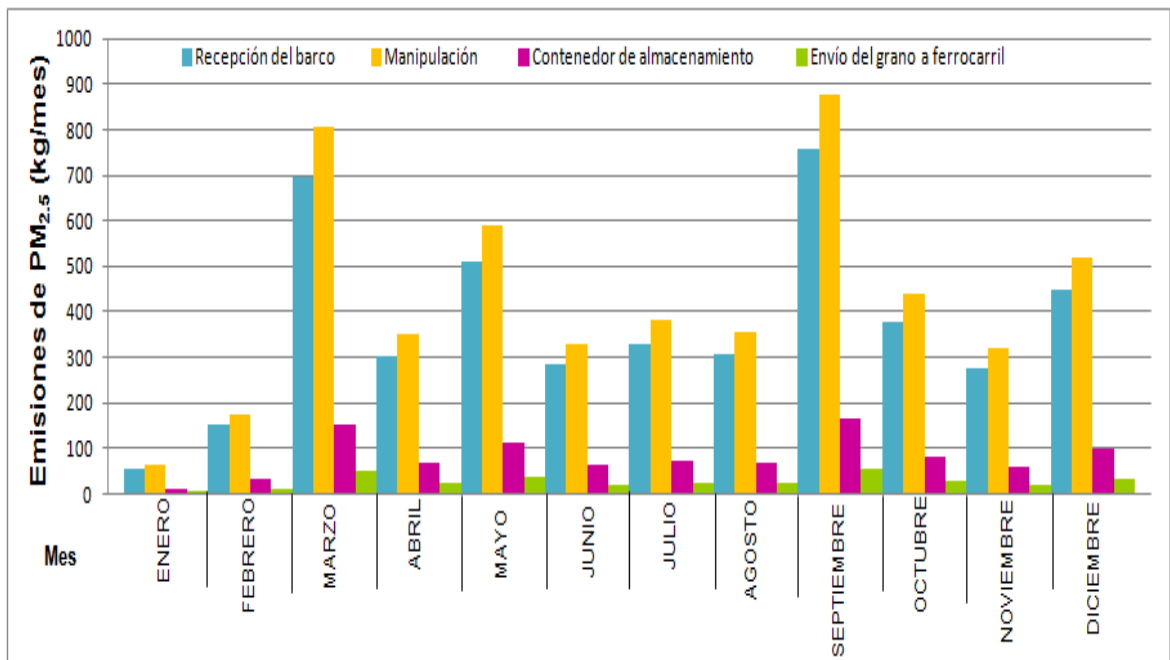
Emisiones de partículas por actividades de manejo de trigo en el 2015



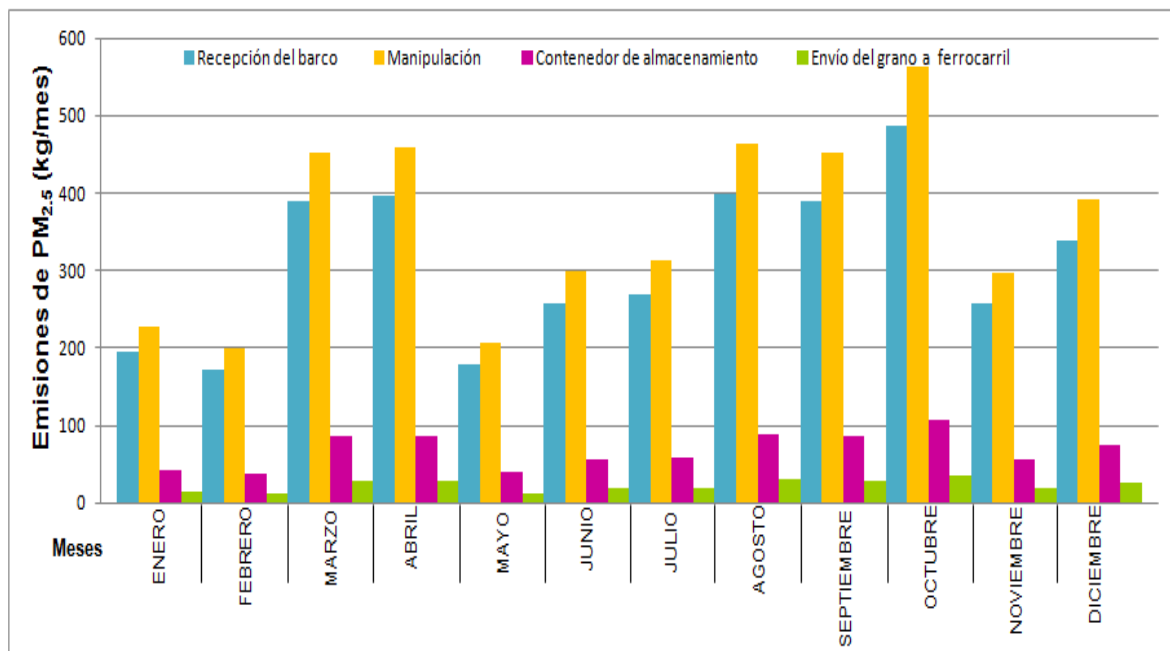
Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de trigo en el 2014



Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de trigo en el 2015

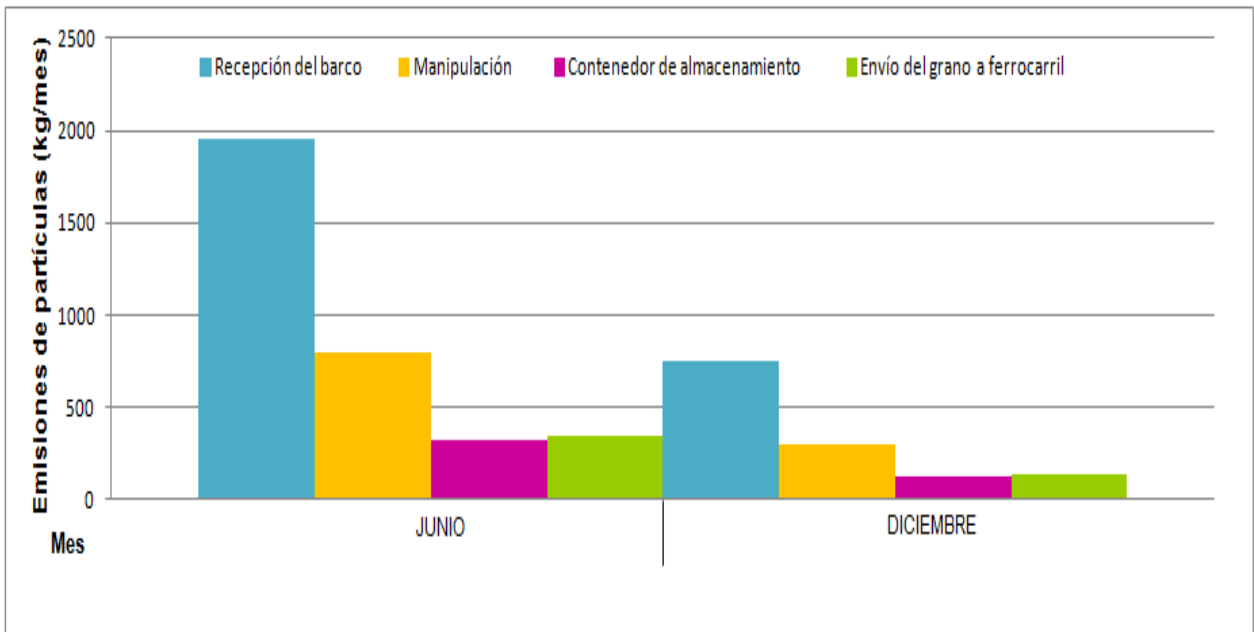


Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de trigo en el 2014

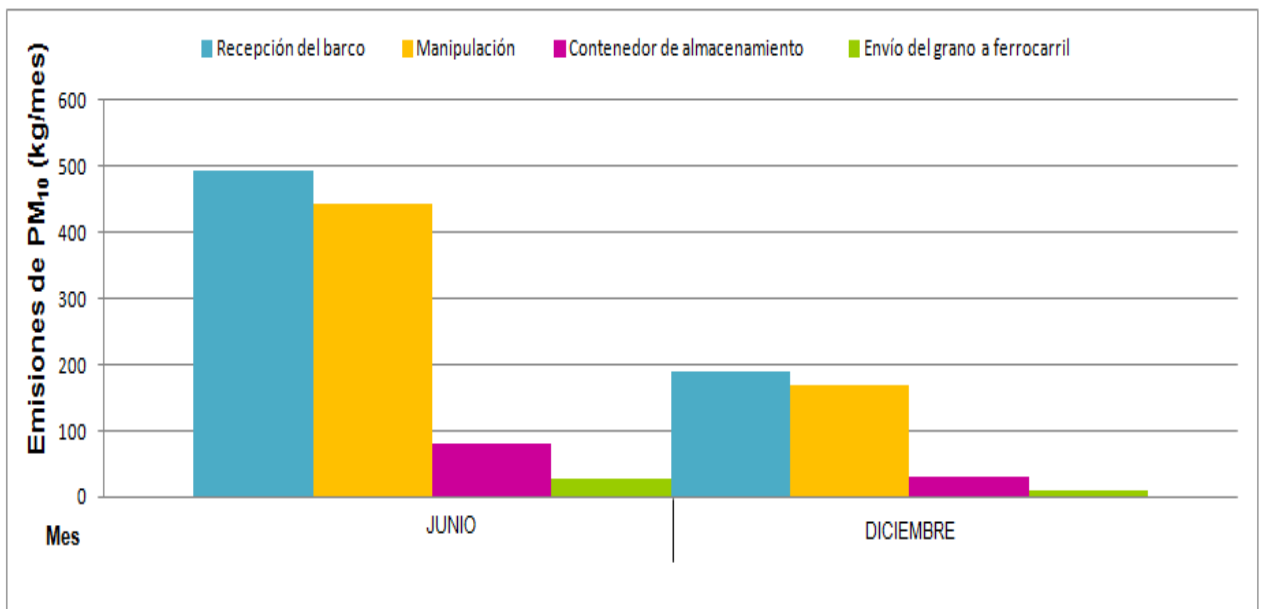


Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de trigo en el 2015

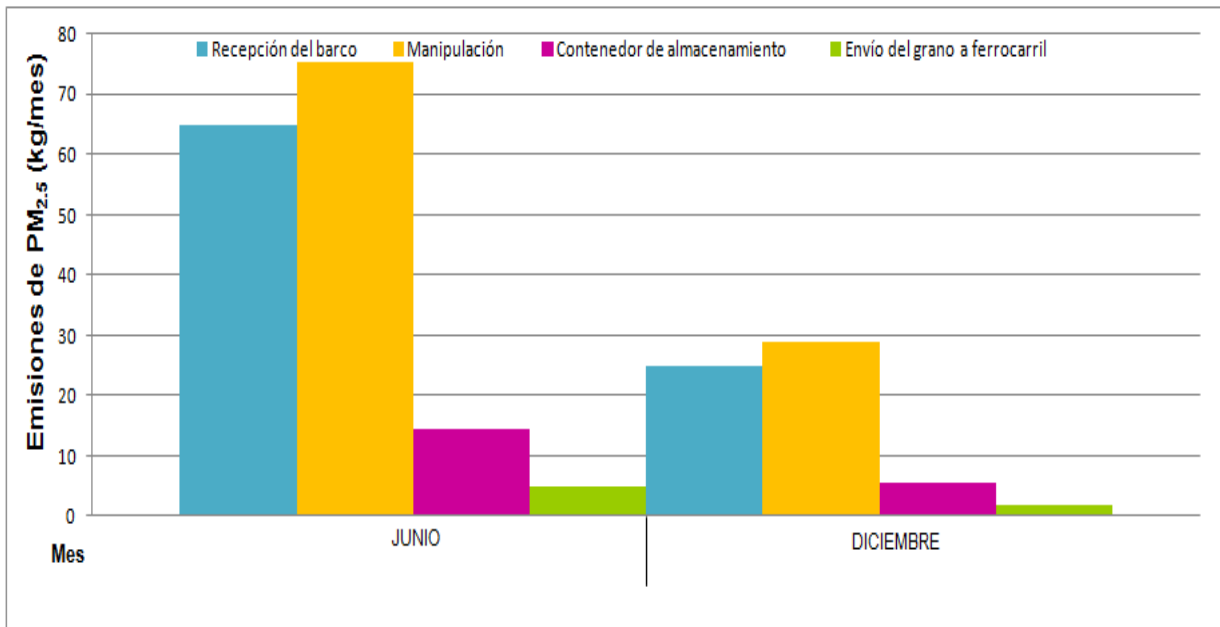
Malta



Emisiones de partículas por actividades de manejo de malta en el 2015

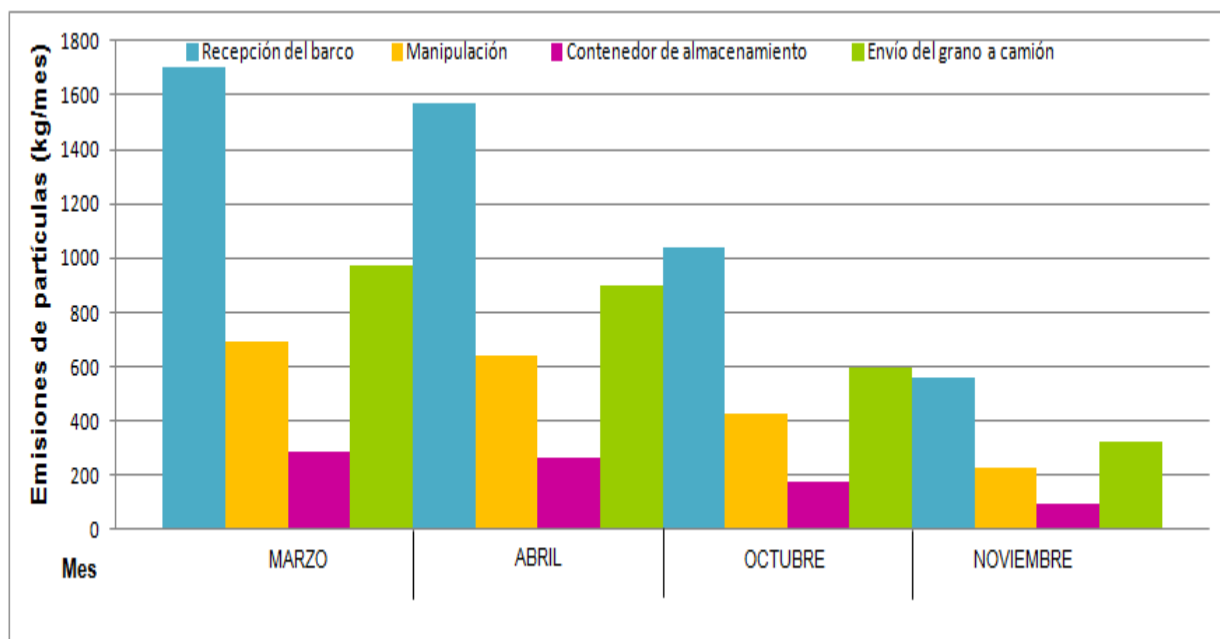


Emisiones de PM₁₀ por actividades de manejo de malta en el 2015

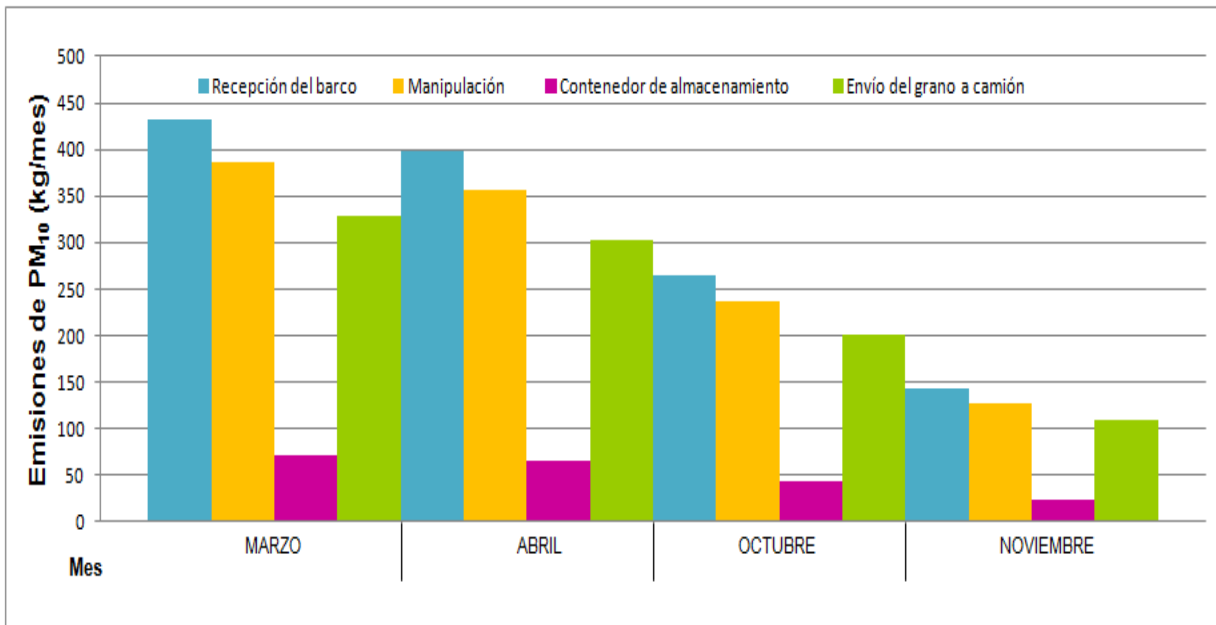


Emisiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de malta en el 2015

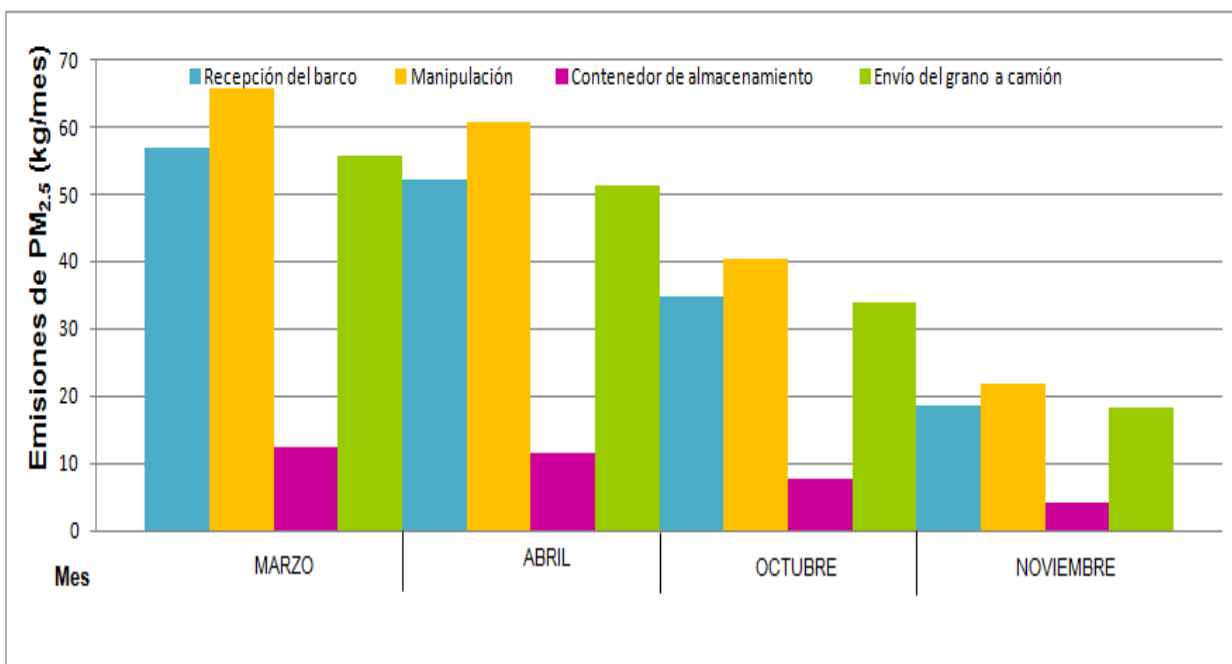
Salvado de trigo



Emisiones de partículas por actividades de manejo de salvado de trigo en el 2014



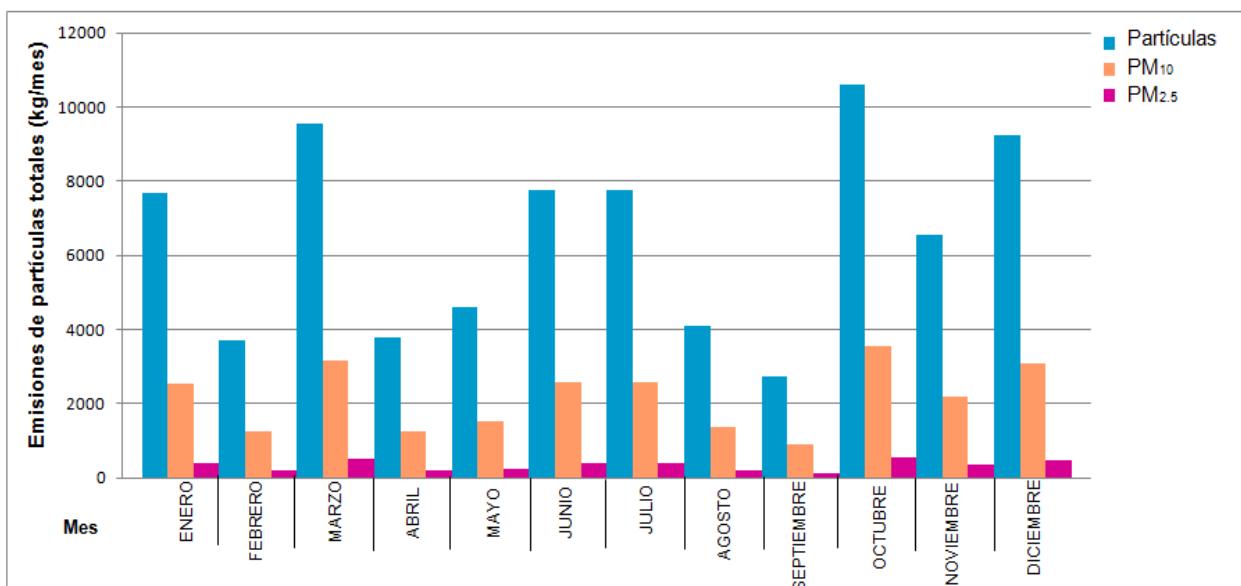
Emissiones de PM₁₀ por actividades de manejo de salvado de trigo en el 2014



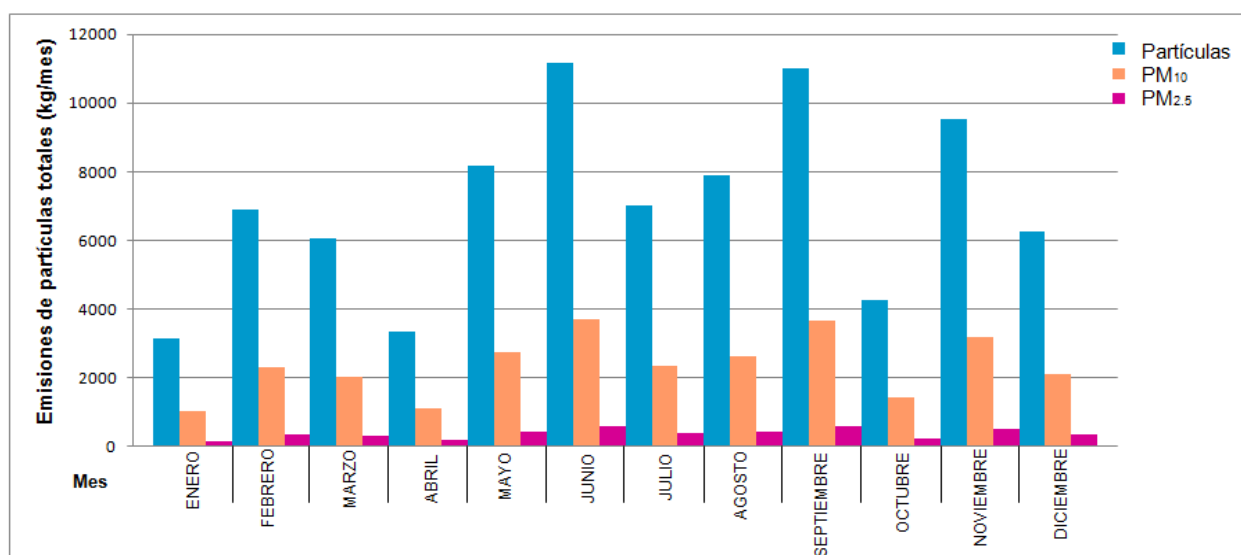
Emissiones de PM_{2.5} por actividades de manejo de salvado de trigo en el 2014

A continuación en las siguientes figuras se presentan las emisiones totales de partículas para todos los granos analizados durante los años 2014 y 2015.

Arroz

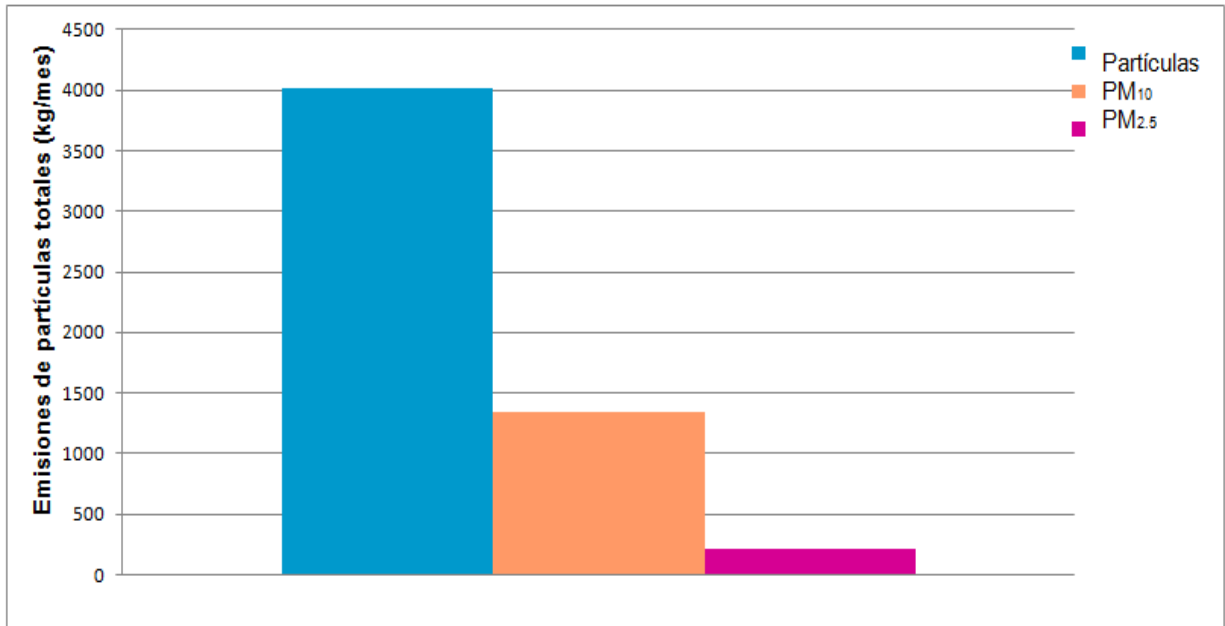


Emisiones de partículas totales para el manejo de arroz en el 2014

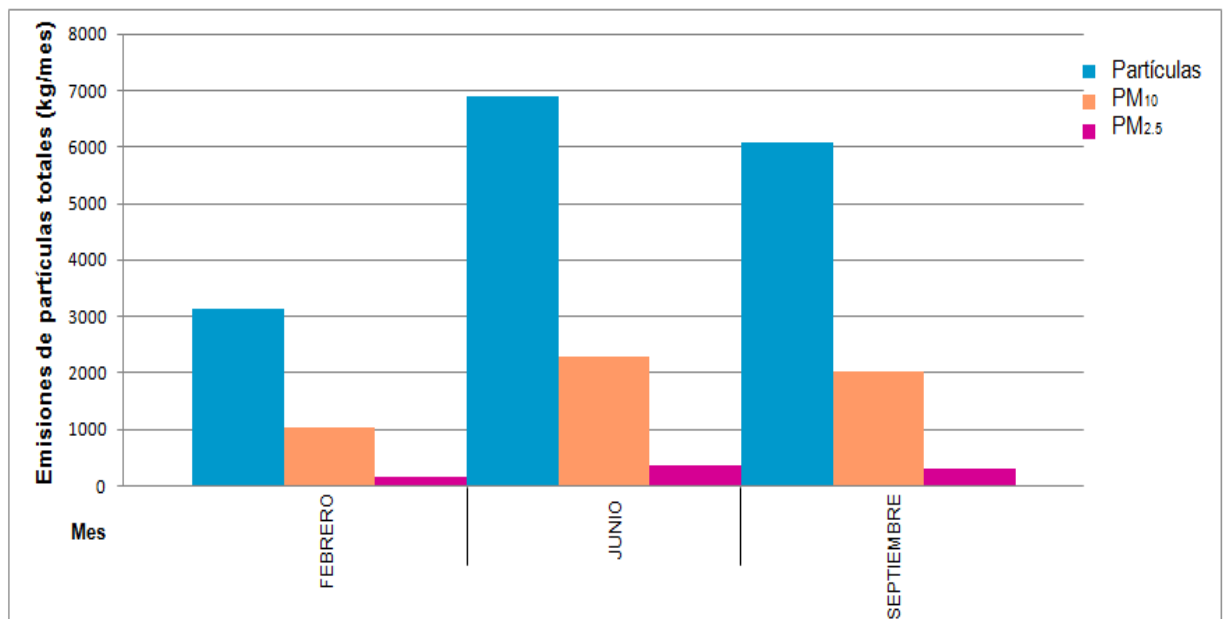


Emisiones de partículas totales para el manejo de arroz en el 2015

Gluten de maíz

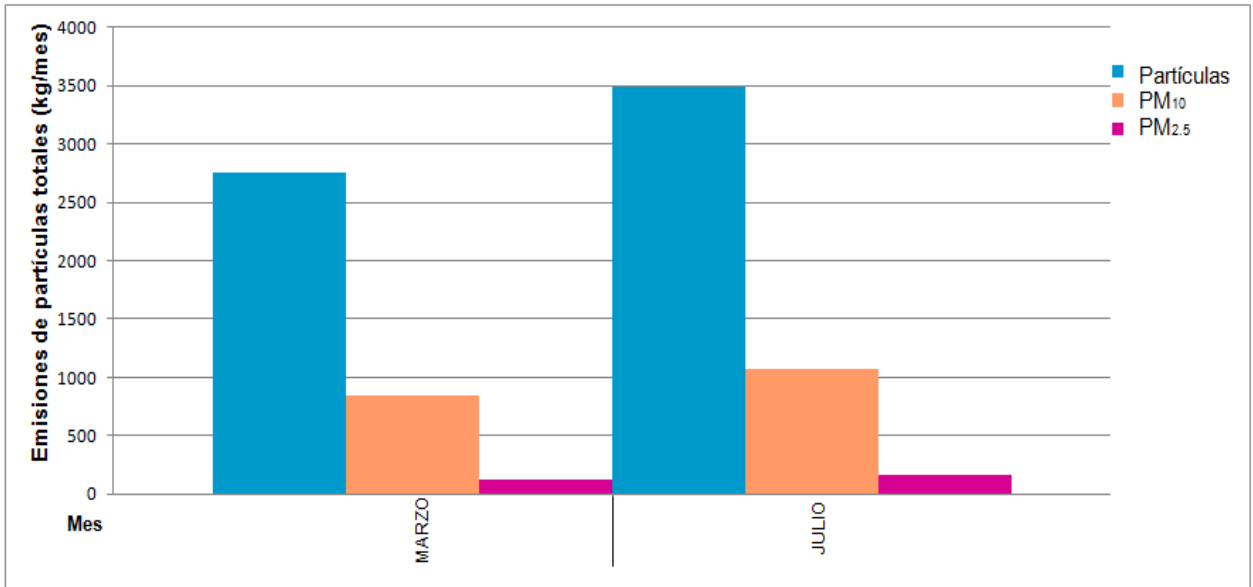


Emissiones de partículas totales por el manejo de gluten de maíz en marzo del 2014



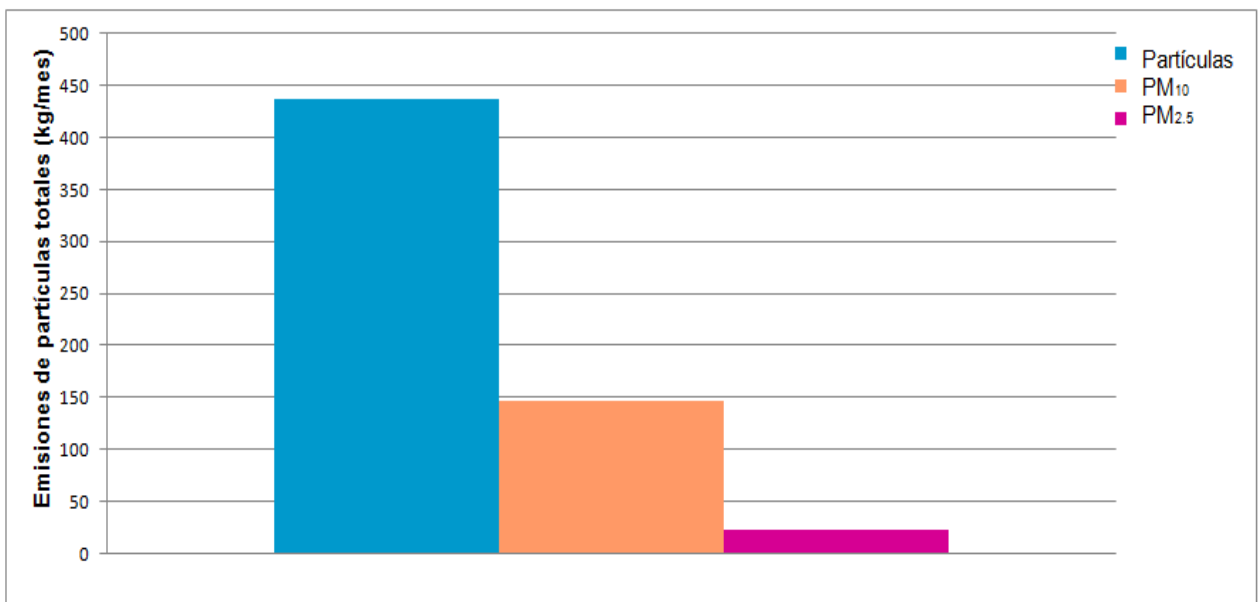
Emissiones de partículas totales por el manejo de gluten de maíz en 2015

Cebada



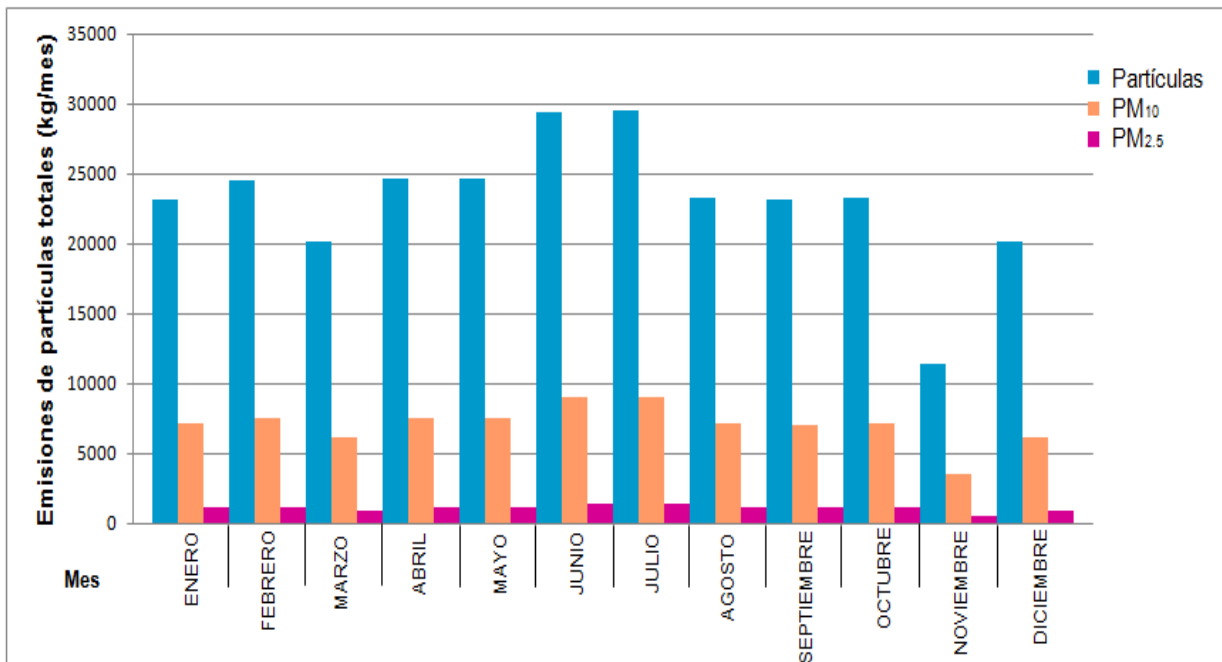
Emisiones de partículas totales por el manejo de cebada en marzo del 2015

Grano seco

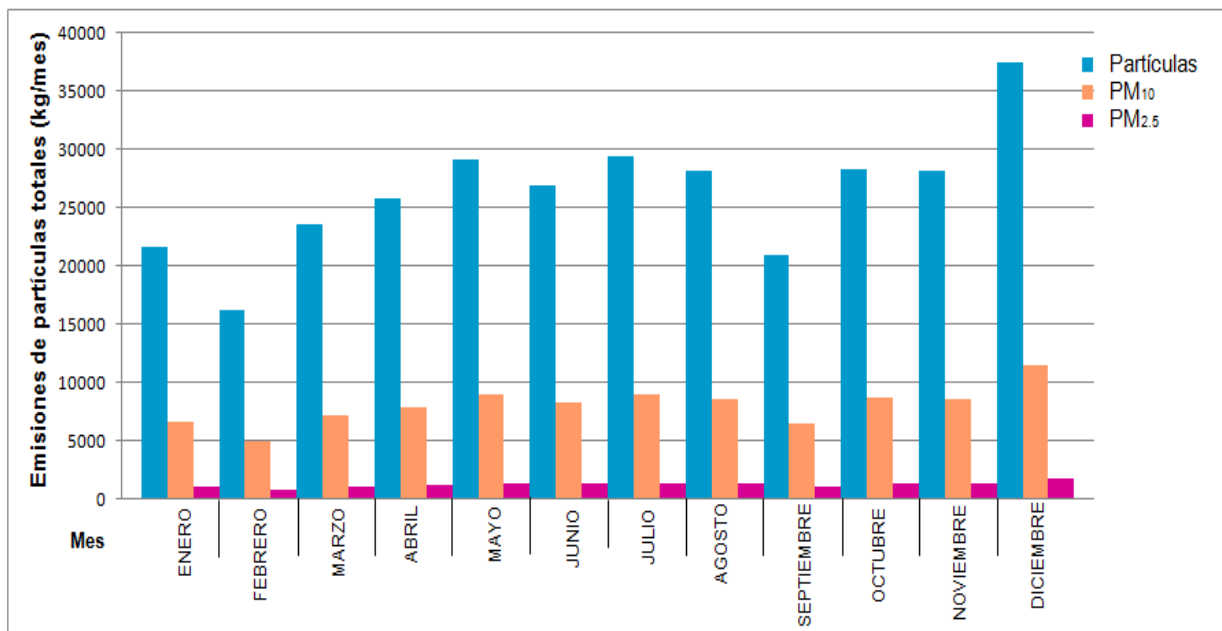


Emisiones de partículas totales por el manejo de grano seco en enero del 2014

Maíz

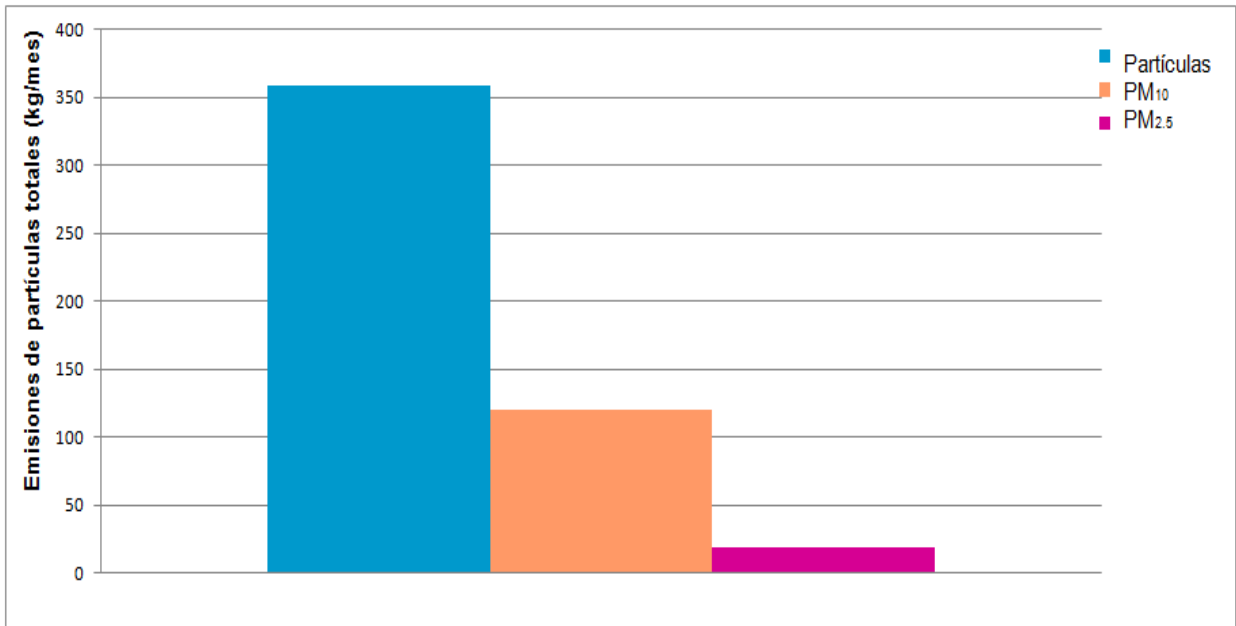


Emisiones de partículas totales por el manejo de maíz en el 2014



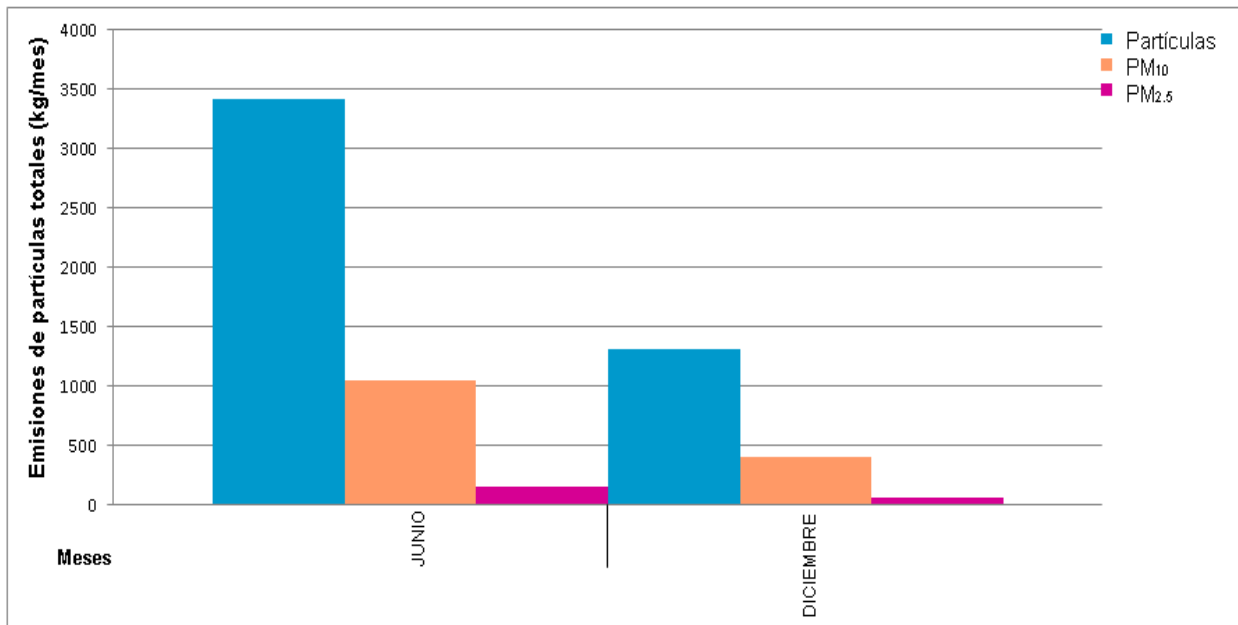
Emisiones de partículas totales por el manejo de maíz en el 2015

Maíz triturado



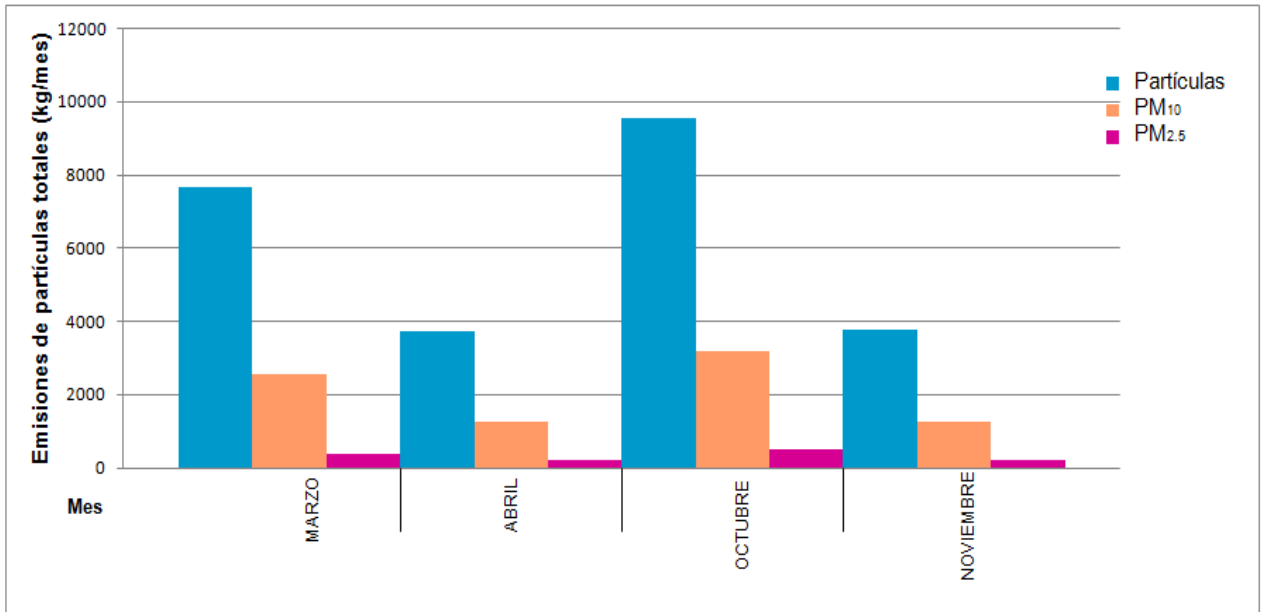
Emisiones de partículas totales por el manejo de maíz triturado en mayo del 2014

Malta 2015



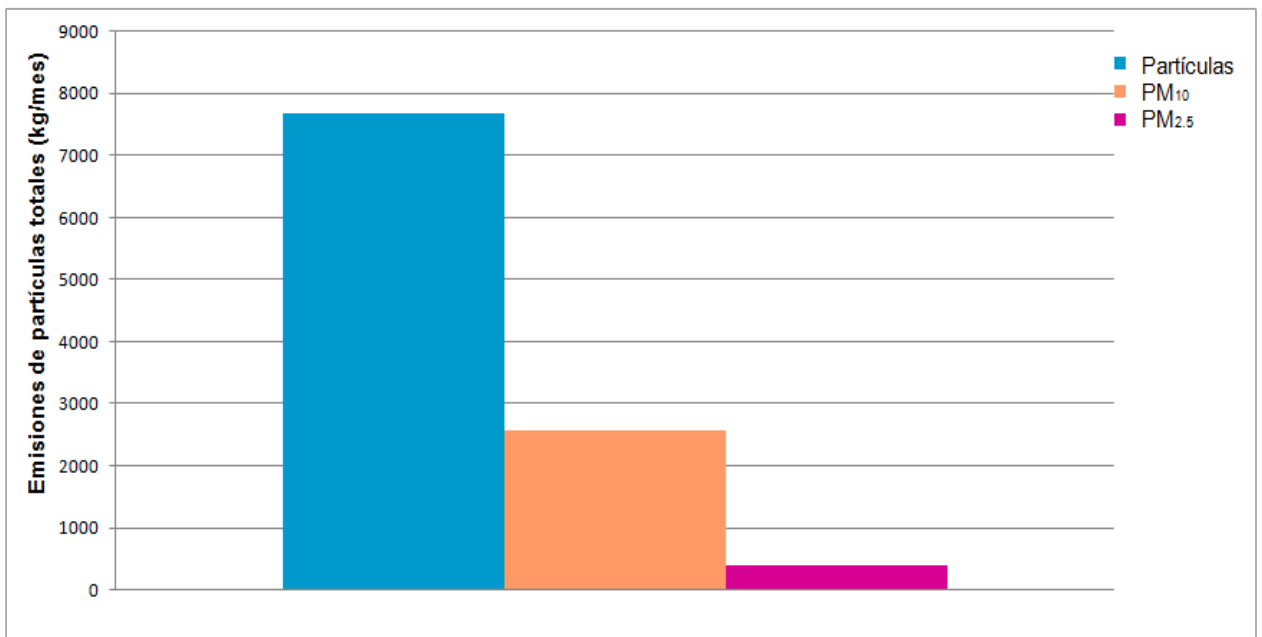
Emisiones de partículas totales por el manejo de malta en el 2015

Salvado de trigo



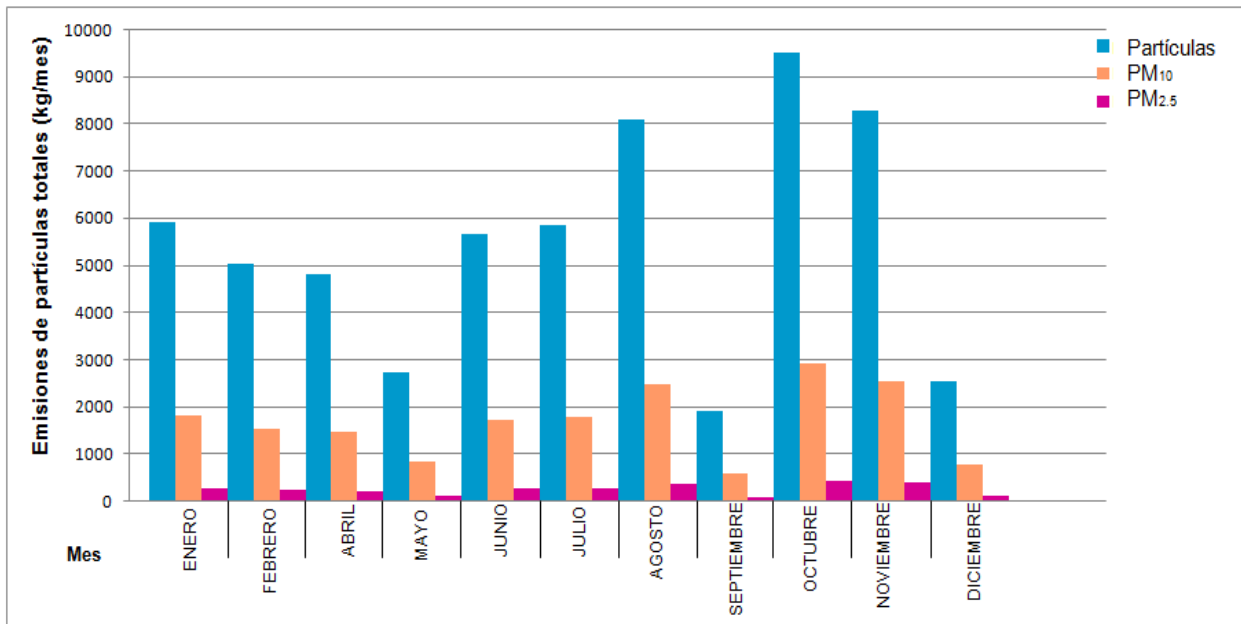
Emissiones de partículas totales por manejo de salvado de trigo en el 2014

Sorgo

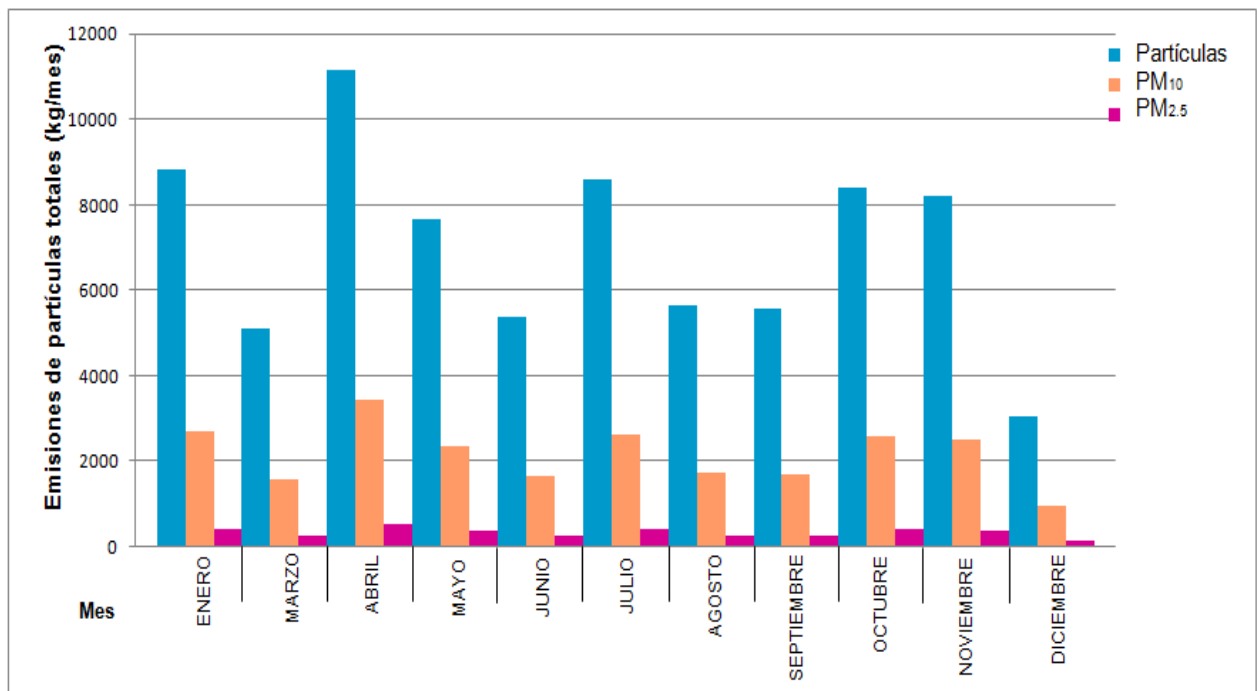


Emissiones de partículas totales por manejo sorgo en enero del 2014

Semilla de canola

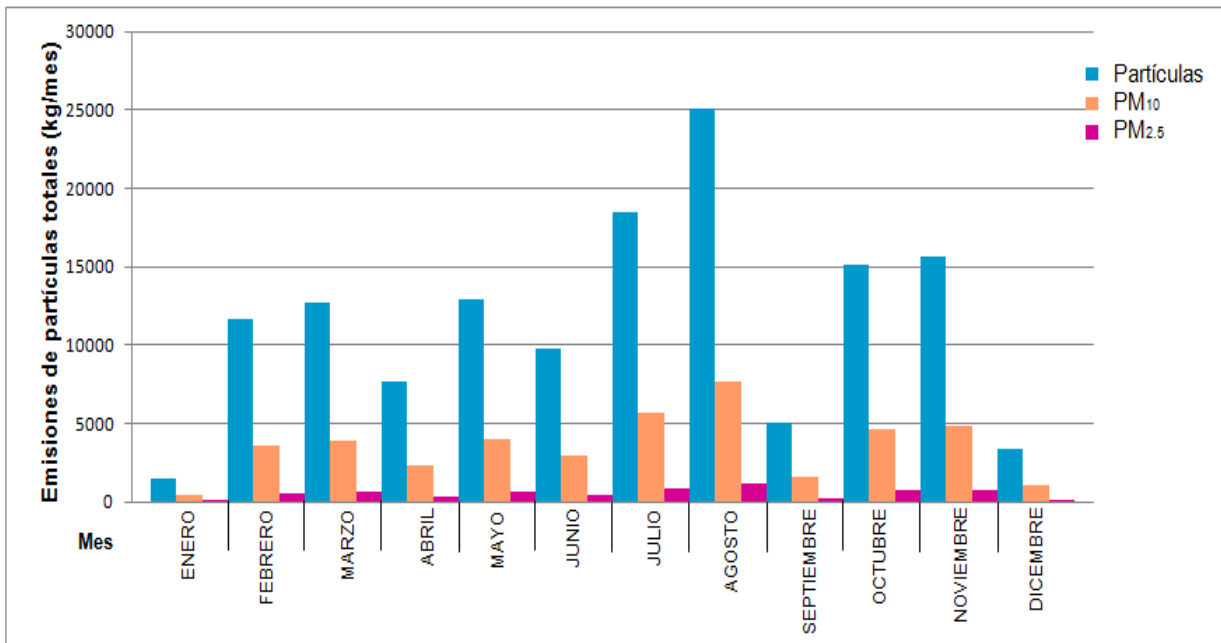


Emisiones de partículas totales por el manejo de semilla de canola en el 2014

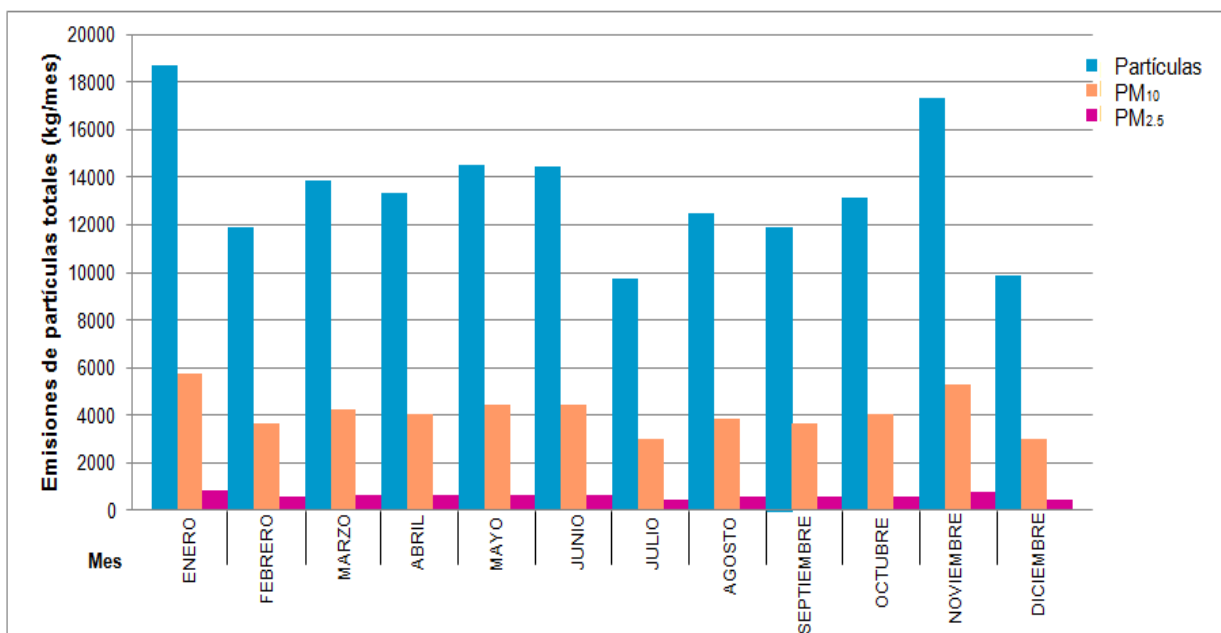


Emisiones de partículas totales por el manejo de semilla de canola en el 2015

Soya

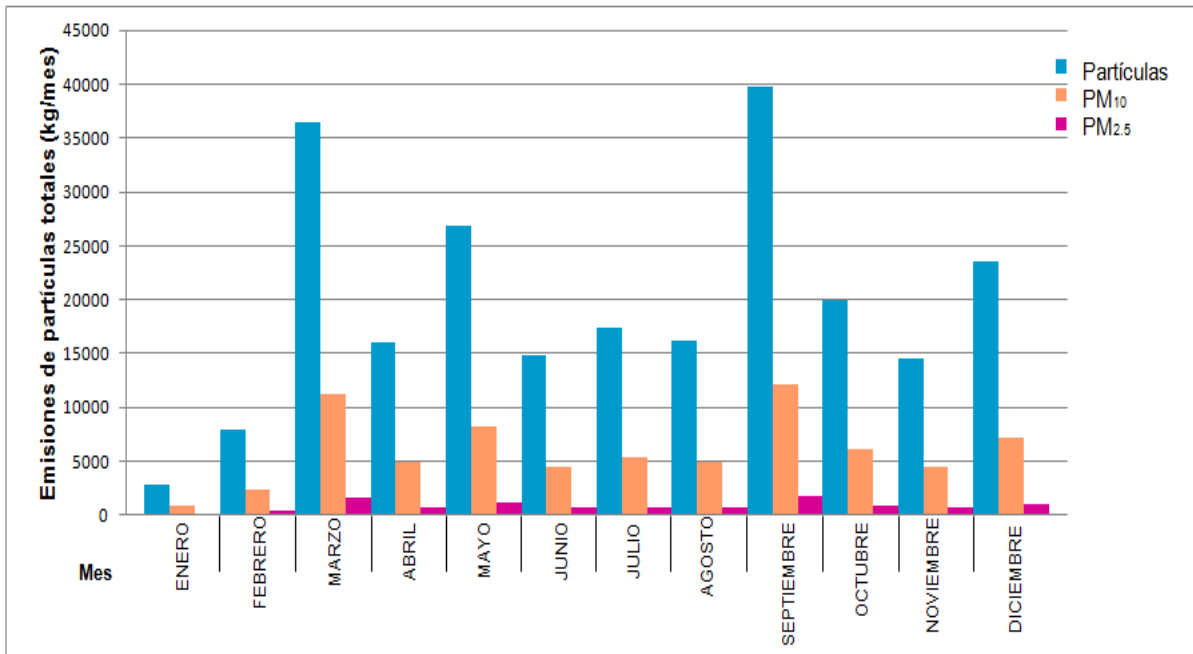


Emisiones de partículas totales por el manejo de soya en el 2014

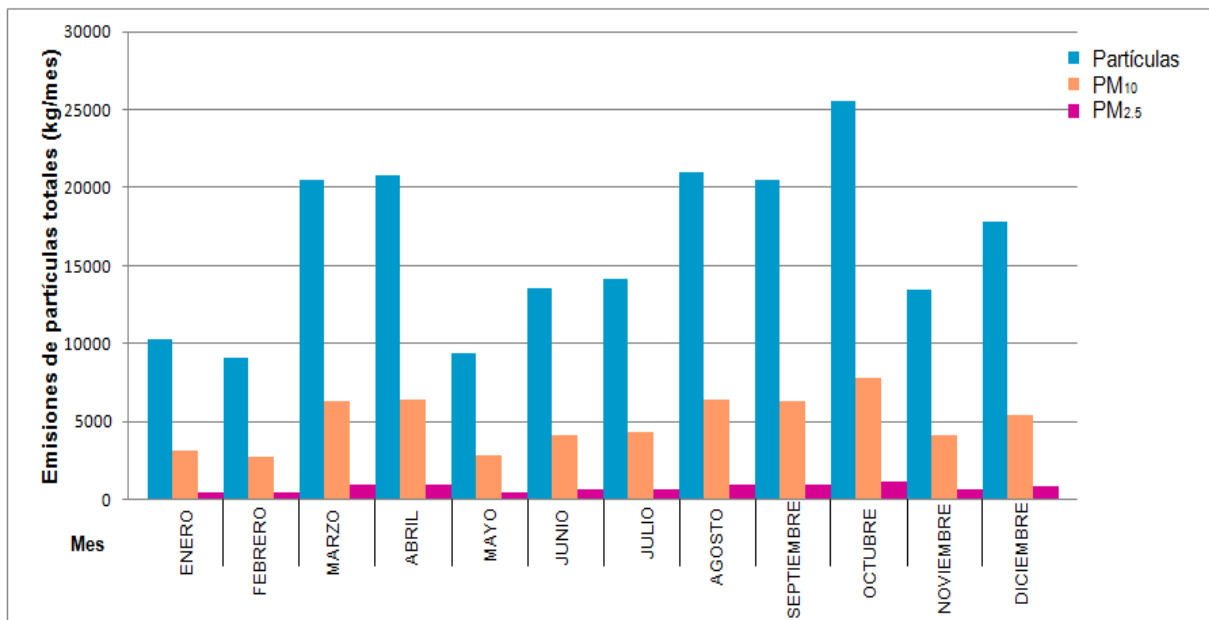


Emisiones de partículas totales por el manejo de soya en el 2015

Trigo



Emisiones de partículas totales por manejo de trigo en el 2014



Emisiones de partículas totales por el manejo de trigo en el 2015