

Estimación de las concentraciones de material particulado (PM10) en la fabricación de ladrillos por medio del modelo Screen View

Estimation of particulate matter concentrations (PM10) in the manufacture of bricks through the Screen View model

Hernández Ávila, Daniela Alejandra¹, Riveros Idárraga, Sergio Enrique¹ y Leal Guerrero, Oscar Javier²
Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
San Gil, Colombia

danielahernandez@unisangil.edu.co
seriveros@unisangil.edu.co
oleal@unisangil.edu.co

Fecha de recepción: agosto 03 de 2017
Fecha de aceptación: noviembre 18 de 2018

Resumen- En el siguiente trabajo de investigación se presentan los resultados de la estimación del nivel de inmisión de material particulado menor o igual a 10 micras (PM₁₀) a posibles receptores en el área de influencia de las ladrilleras 1, 2, y 3, teniendo en cuenta que se utilizaron variables, como el clima y la meteorología; para ello se tuvieron en cuenta las estaciones meteorológicas portátiles suministradas por la Fundación Universitaria de San Gil UNISANGIL, el modelo WRPOT (Rosas de vientos, Parcelas de datos meteorológicos); al igual que los métodos para el cálculo de las emisiones del PM₁₀ (Factores de emisión) en los procesos unitarios, caracterizando el proceso de fabricación de ladrillo (inventario de emisiones), requerido para llevar a cabo el modelo SCREEN VIEW 3 (Modelo de dispersión de contaminantes), para determinar la longitud de inmisión e isoplethas de concentración del PM₁₀ que con ayuda de un sistema SIG, se representaron gráficamente. Las emisiones fueron estimadas mediante los factores establecidos por la normativa, resolución 610 del 2010 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, del mismo modo estas emisiones se ajustaron para obtener alternativas de gestión de acuerdo con problemática generada por fuentes fijas como lo son ladrilleras en estudio.

Palabras Claves- Inmisión, emisión, receptor, material particulado, modelo screen view y fuentes fijas.

Abstract- The following research work shows the results of the estimation of the level of immission of particulate matter, smaller or equal to 10 microns (PM₁₀), by possible receptors in the area of influence of the brickworks 1, 2, and 3, having into consideration variables such as the weather and meteorology; for this, some Portable Weather Stations supplied by the University Foundation of San Gil UNISANGIL, the WRPOT model (Wind Roses, Weather Data Plots) were taken into account; as well as the methods for

calculating PM₁₀ emissions (emission factors) in the unit processes, characterizing the brick manufacturing process (emissions inventory), required to carry out the model SCREEN VIEW 3 (Contaminants Dispersion Model), to determine the length of immission and isopleths of concentration of PM₁₀, which were graphically represented by means of a GIS system. The emissions were estimated by the factors established by the regulation: resolution 610 of 2010 from the *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial* (Ministry of Environment, Housing and Territorial Development) in the same way, these emissions were adjusted to obtain management alternatives in accordance with those problems generated by fixed sources such as the analyzed brickworks.

Keywords- Immission, emission, receiver, particulate matter, screen view model and fixed sources.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como énfasis las problemáticas ambientales que con el paso del tiempo se han venido presentando, generando aumentos en los gases de efecto invernadero (Óxidos de azufre SO_x, Óxidos de nitrógeno NO_x, Monóxido de carbono CO, Dióxido de carbono CO₂, Ozono troposférico O₃, partículas suspendidas totales PST entre otros), una de las principales industrias productoras de esta clase de contaminantes son aquellas empresas que tiene una gran demanda de materiales a base de arcilla como lo son las ladrilleras [1].

¹ Ingeniero Ambiental, UNISANGIL

² Docente investigador Grupo de Estudios Ambientales para la Sostenibilidad, la Innovación y el Desarrollo GEASID. Ingeniero Ambiental UNISANGIL, Especialista en ordenamiento y gestión integral de cuencas hidrográficas, Magister en química ambiental -

Las partículas suspendidas totales (PST) que se refieren a partículas de todos los tamaños presentes en la atmósfera, están compuestas por gases, humo, polvo y aerosoles. El efecto de esas partículas en la salud depende de su tamaño y concentración, las partículas se derivan en tres clases PM_{10} , $PM_{2.5}$ y $PM_{0.1}$.

El indicador PM_{10} se refiere a las partículas con menos de 10 micrones de diámetro. Éstas se conocen comúnmente como partículas gruesas y contienen polvo proveniente de los caminos y las industrias, así como partículas generadas por la combustión. Dependiendo de su tamaño, las partículas gruesas pueden alojarse en la tráquea (parte superior de la garganta) o en los bronquios [2].

El indicador $PM_{2.5}$ se refiere a las partículas con menos de 2.5 micrones de diámetro. Éstas se conocen comúnmente como partículas finas y contienen aerosoles secundarios, partículas de combustión y vapores metálicos y orgánicos recondensados, así como componentes ácidos. Las partículas finas pueden llegar hasta los alvéolos pulmonares. [2].

El indicador $PM_{0.1}$ se refiere a las partículas con menos de 0.1 micrones de diámetro, conocidas como partículas ultra finas. Estas partículas, cuyo estudio se encuentra aún en fase preliminar, suelen exhalarse, pero pueden llegar al torrente sanguíneo [2].

En el área de influencia donde se desarrolló la investigación, la demanda en material de construcción ha crecido de manera notoria en los últimos años, trayendo consigo beneficios para la población a nivel económico, pero descuidando en gran parte el medio ambiente, generando además grandes cantidades de contaminantes en el proceso de producción de ladrillo, la quema de carbón y demás combustibles; estos producen contaminación atmosférica, como antes nombrados. Principalmente el alto contenido de PM_{10} que provoca efectos negativos sobre el medio ambiente, la salud de las personas y los materiales. [1].

Por lo anterior, resultó necesario realizar estudios, que para el caso de esta investigación, se apoya en el modelo de dispersión SCREM VIEW el cual consta de unos datos de entrada y de salida tomados en campo por cada planta en estudio, con los cual se pueda evidenciar el daño que este contaminante está generando a todas aquellas personas que residen en las zonas aledañas a cada planta y también el impacto que produce en el medio.

Para analizar la problemática que genera cada planta de producción de ladrillo con el PM_{10} se tomaron los datos arrojados por el modelo, de manera que así se lograra generar una comparación con la norma resolución 610 del 2010, la cual especifica la concentración de PM_{10} para receptores y a partir de ello, se puedan definir alternativas de solución en caso de que planta en estudio las requiera [3].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron las fuentes de datos a inventariar, en el área de influencia del municipio de San Gil, tres (3) industrias ladrilleras las cuales cumplen con la condición de producción establecidas en la resolución 619/97.

La muestra contempla un 60% de las plantas ladrilleras en el área de influencia de San Gil (no convencionales), siendo significativas para las intenciones del estudio, con las siguientes empresas:

- Ladrillera 1.
- Ladrillera 2.
- Ladrillera 3.

El estudio comprende seis etapas que a grandes rasgos caracterizan el proceso productivo de fabricación de ladrillo a través del inventario de emisiones, para el cálculo de la emisión de material particulado (PM_{10}). Por medio de la técnica de factores de emisión, se establecen las variables meteorológicas e identificación de los receptores para la posterior compilación del modelo, y determinar la longitud de inmisión e Isopletas de concentración, tomando como referente el grado de cumplimiento de cada ladrillera con base a la normatividad ambiental vigente, para finalmente, identificar alternativas de control desde la ingeniería, aplicadas para el mejoramiento de la calidad del aire en el área de influencia del proyecto.

A) Fase 1. Desarrollo del inventario de emisiones de PM_{10} en todos los procesos

El propósito de este inventario es cuantificar las emisiones de material particulado (PM_{10}) generado por la industria ladrillera de gran escala ubicada en el área de influencia de San Gil Santander, para conocer sobre una base anual, la emisión de este contaminante por proceso y por fábrica de ladrillo, como fase preliminar para estimar las emisiones por medio de un modelo (SCREEN 3) a fin de establecer el cumplimiento de este sector industrial con la normatividad ambiental vigente.

B) Fase 2. Estudio de las variables meteorológicas

Información meteorológica. Para la estimación de balances meteorológicos de cada ladrillera se realizó en cada una de ellas un respectivo estudio con la ayuda de la estación meteorológica, con una duración de un mes representativo, dando comienzo desde el 14 de marzo hasta el 14 de abril de 2016. En Colombia el intervalo de tiempo mínimo estimado para hacer estudios meteorológicos y posteriormente realizar rosas de viento, es de 18 días según el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire para modelos de dispersión de contaminantes.

Las variables meteorológicas contempladas fueron: Temperatura (°C), Humedad (%), Velocidad del viento (m/s), Precipitación (mm), Dirección del viento (Grados y Rumbos) y Presión atmosférica (mmHg). Teniendo en cuenta la localización espacial de cada ladrillera, se optó por asignar a cada planta una estación meteorológica de la siguiente manera.

Estación número uno (1) Estación Meteorológica UNISANGIL. Esta se asignó a la ladrillera 1, La estación está localizada en San Gil Santander, en el campus universitario de UNISANGIL, a una altura de 1142 msnm y sus coordenadas son: 6°32'18" N y 73°7'39,84 W. Esta estación tiene una magnitud de 10 km. La Ladrillera 1 se encuentra localizada a 6,07 km de la estación UNISANGIL, por lo tanto, cumple los criterios estando en el intervalo aceptable.

Estación número dos (2) –Aeropuerto Palonegro. Esta se asignó a la ladrillera 3, la estación meteorológica está localizada en el aeropuerto Palonegro del área metropolitana de Bucaramanga, a una altura de 1194 msnm y sus coordenadas son: 7°7'44,66" N y 73°10'56,43 W. Ésta es una estación sinóptica con una magnitud de 100 km. La Ladrillera 3 se encuentra localizada a 55,8 km de la estación Palonegro, así que cumple los criterios, estando en un intervalo aceptable.

Estación número tres (3) –Estación Meteorológica portátil Versalles. Esta se asignó a la ladrillera 2, localizada en San Gil, Santander, dentro de la planta, a una altura de 1678 msnm; sus coordenadas son: 6°31'43,83" N y 73°05'57,36 W. Ésta es una estación Portátil Easy Weather suministrada por UNISANGIL, de referencia PCE Instruments, para sitios determinados.

Información meteorológica procesada para las ladrilleras. En este punto se procesaron los datos de las estaciones meteorológicas en un consolidado total por planta. De todas las variables anteriormente nombradas; por ejemplo, en la temperatura se halló, la mínima y media, la humedad máxima y promedio de cada día, velocidad máxima y promedio, precipitación máxima, dirección del viento en rumbos, y la presión atmosférica en mmHg. Estos datos meteorológicos procesados fueron fundamentales para completar el estudio hallando valores necesarios para crear posteriormente las rosas de vientos diarias y la mensual.

C) Fase 3. Identificación de los receptores

Los receptores son aquellas personas y medio ambiente que son afectados por las emisiones de PM10 ya descritas, y que para efecto de esta investigación, fue necesario el uso de herramientas técnicas que facilitaran su localización por medio de las rosas de vientos y los vectores de distribución de contaminantes.

El software WRPLOT de Lakes Environmental fue la herramienta con la cual se procesaron las rosas de vientos para 32 días representativos, en el periodo del 15 de marzo al 15 de abril de 2016 para las plantas en estudio, después se obtuvo una rosa mensual de la dirección de vientos y del vector de contaminación, con su respectiva dirección predominante.

D) Fase 4. Longitud de inmisión e isopletras de concentración

Se utilizó el programa Arcgis, para espacializar la concentración de Material particulado PM10 en el área de influencia de las plantas en estudio. El análisis, es el proceso de manipular información espacial para extraer información nueva y significativa a partir de los datos originales. Usualmente el análisis espacial se realiza con un Sistema de Información Geográfica (SIG). Un SIG normalmente proporciona herramientas de análisis espacial para calcular estadísticas de las entidades y realizar actividades de geoprocamiento como la interpolación de datos [4].

Para la interpolación se dio uso a la herramienta IDW para interpolar puntos determinados (receptores) con valores que arrojaba el modelo SCREEN VIEW.

En el método de interpolación IDW, los puntos de muestreo se ponderan durante la interpolación de tal manera que la influencia de un punto en relación con otros disminuye con la distancia desde el punto desconocido que se desea crear. Estima los valores de una propiedad, que se asume dependiendo de su localización, con base en la asignación de pesos a los datos del entorno en función inversa a la distancia que los separa del punto en cuestión [5].

De esta forma se acepta que los puntos más próximos al centroide “z” intervienen de manera más relevante en la construcción del valor definitivo de la propiedad para ese punto. Por otra parte, si las distancias están a su vez afectadas por un exponente de ponderación, cuanto mayor es éste, más contribuyen los puntos próximos.

E) Fase 5. Referencia para el grado de cumplimiento de las plantas respecto a la normatividad ambiental

El nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial bajo la Resolución 610 del 2010, para el contaminante en estudio, material particulado, con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales (PM10), con un tiempo de exposición anual y un nivel máximo permisible de 50 µg/m³ y con una exposición de 24 horas con un nivel máximo permisible de 100 µg/m³, dado que el estudio se interpretó gracias al modelo de

dispersión SCREEN VIEW el cual arrojó concentraciones en un tiempo 24 horas.

III. RESULTADOS

Para el desarrollo de las fases planteadas se dieron los siguientes resultados:

Fase 1. Desarrollo del inventario de emisiones de PM10 en todos los procesos

Para esta primera fase se desarrollaron las siguientes actividades:

A) Recopilación de datos y cálculo de las emisiones

En la tabla 1, se presenta la recopilación de datos y cálculos de las emisiones a través de las etapas en las que existe emisión del contaminante.

TABLA 1. ETAPAS EN LAS QUE EXISTE EMISIÓN DEL CONTAMINANTE

Etapas		PM10
Almacenamiento		X
Molienda		X
Conformado		X
Secado	Natural	-
	Artificial	X
Cocción		X

B) Factores de emisión utilizados para el estudio

Factores de emisión de la EPA:

a. Capítulo 11.3 AP-42 (Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources).

b. Programa FIRE. En esta base de datos se incluyen los factores que aparecen en el Capítulo 11 del AP-42 para horno túnel y otros factores para horno Hoffmann.

En la tabla 2 se presenta la calidad del factor de emisión de acuerdo a cada tipo de factor.

TABLA 2. CALIDAD DEL FACTOR DE EMISIÓN

Tipo de factor	Calidad del factor
A	Excelente
B	Medio-Alto
C	Medio
D	Medio-Bajo
E	Bajo
U	Sin Datos

En la tabla 3 se presenta el cálculo estimado de emisión de cada horno de la ladrillera 1.

TABLA 3. CÁLCULO ESTIMADO DE EMISIÓN DE CADA HORNO. LADRILLERA 1

ETAPA	QUEMA CARBÓN (Actividad) (ton/mes)	FACTOR DE EMISIÓN (kg Contaminante/ton carbón quemado)	ESTIMADO DE EMISIÓN DE PM10 (kg/año)
Procesos de cocción hornos colmena a carbón			
Horno A	12,5	4,99	748,5*
Horno B	12,5	4,99	748,5*
Horno C	63	4,99	3772,44*
Total	88	-	5269,44*

En la tabla 4 se presenta la suma de las emisiones de material particulado (PM10) para cada una de las categorías de las fuentes identificadas.

TABLA 4. SUMA DE EMISIONES DE PM10 EN TODOS LOS PROCESOS DE LA LADRILLERA 1

ETAPA	ESTIMADO DE EMISIÓN PM10 (kg/año)
Almacenamiento y extracción Moliendas	82080
Moliendas	2989,06
Conformado	37,8

En la tabla 5 se presenta el cálculo estimado de emisión de cada horno de la ladrillera 2.

TABLA 5. CÁLCULO DE ESTIMADO DE EMISIÓN DE CADA HORNO. LADRILLERA 2

ETAPA	QUEMA CARBÓN (Actividad) (ton/mes)	FACTOR DE EMISIÓN (kg Contaminante/ton carbón quemado)	ESTIMADO DE EMISIÓN DE PM10 (kg/año)
Procesos de cocción hornos colmena a carbón			
Horno No. 1	77	4,99	4610,76*
Horno No. 2	61,5	4,99	3682,62*
Horno No. 3	44	4,99	2634,72*
Horno No. 4	23,62	4,99	1414,36*
Horno No. 5	63	4,99	3772,44*
Horno No. 6	68,13	4,99	4079,62*
Horno No. 7	67	4,99	4011,96
Total	404,25	-	24206,48*

En la tabla 6 se presenta la suma de las emisiones de material particulado (PM10) para cada una de las categorías de las fuentes identificadas.

TABLA 6. SUMA DE EMISIONES DE PM10 EN TODOS LOS PROCESOS DE LA LADRILLERA 2

ETAPA	ESTIMADO DE EMISIÓN PM10 (kg/año)
Almacenamiento y extracción	183767,76
Moliendas	4730,53
Conformado	162,19
Secado	0,29
Cocción	24206,48
TOTAL	212867,25

En la tabla 7 se presenta el cálculo estimado de emisión de cada horno de la ladrillera 3.

TABLA 7. CÁLCULO DE ESTIMADO DE EMISIÓN DEL HORNO LADRILLERA 3. REVISIÓN EXPEDIENTE CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER

ETAPA	Procesos de cocción hornos colmena a carbón	Quema carbón (actividad) (Ton/mes)	Factor de emisión (kg Contaminante/ton carbón quemado)	Estimado de emisión PM10 (kg/año)
Horno 1	36	36	4,99	2155,68*
Total	36	36	-	2155,68*

ETAPA	Procesos de cocción de ladrillo	Quema carbón (actividad) (Ton/mes)	Factor de emisión (kg Contaminante/ton ladrillo producido)	Estimado de emisión PM10 (kg/año)
Horno 1	250	250	0,378	1134*
Total	250	250	-	1134*

En la tabla 8 se presenta la suma de las emisiones de material particulado (PM10) para cada una de las categorías de las fuentes identificadas en ladrillera 3.

TABLA 8. SUMA DE EMISIONES DE PM10 EN TODOS LOS PROCESOS EN LADRILLERA 3

ETAPA	ESTIMADO DE EMISIÓN PM10 (kg/año)
Almacenamiento y extracción	21600
Moliendas	814,41
Conformado	10,8
Secado	0,03
Cocción por carbón	2155,68
Cocción por producción de ladrillo	1134
TOTAL	25714,92

TABLA 9. CONSOLIDADO TOTAL DE LAS EMISIONES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE SAN GIL

EMPRESA	ESTIMADO DE EMISIÓN TOTAL DE PM10 (kg/año)
Ladrillera 1	90377,46
Ladrillera 2	212867,25
Ladrillera 3	25714,92
Total	328959,63

Fase 2. Desarrollo de estudio de las variables meteorológicas

A continuación, a través de las figuras 1, 2 y 3 se presentan las variables meteorológicas: temperatura, humedad y precipitación máxima para la ladrillera 1.

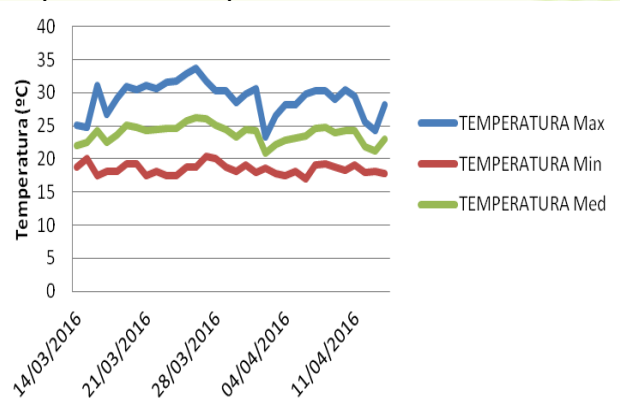


Fig. 1 Información meteorológica procesada variable temperatura para ladrillera 1.

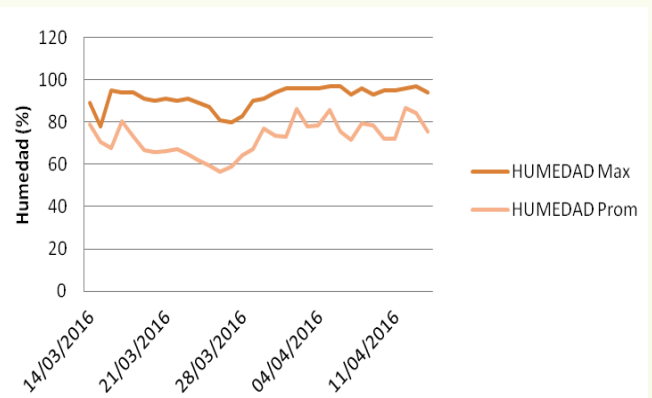


Fig. 2 Humedad información meteorológica procesada variable humedad para ladrillera 1.

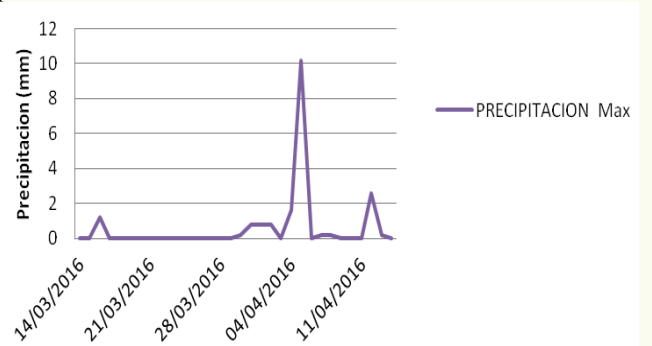


Fig. 3 Información meteorológica procesada variable "precipitación máxima" para ladrillera 1.

A través de las figuras 4, 5 y 6 se presentan las variables meteorológicas: temperatura, humedad y precipitación máxima para la ladrillera 2.

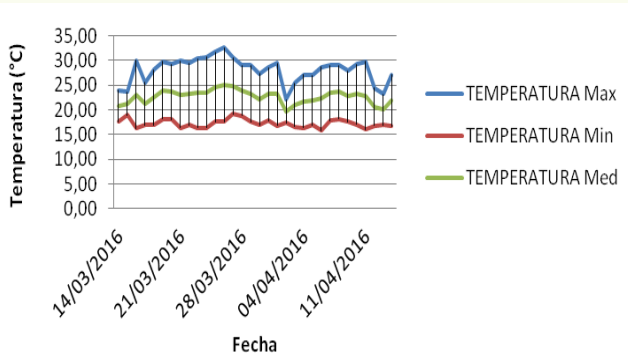


Fig. 4 Información meteorológica procesada variable temperatura para ladrillera 2.

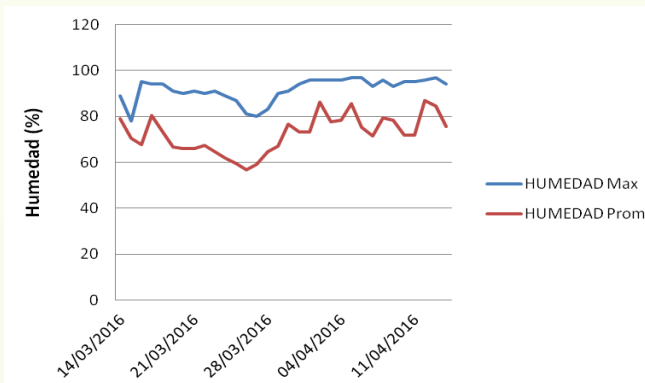


Fig. 5 Humedad información meteorológica procesada variable humedad para ladrillera 2.

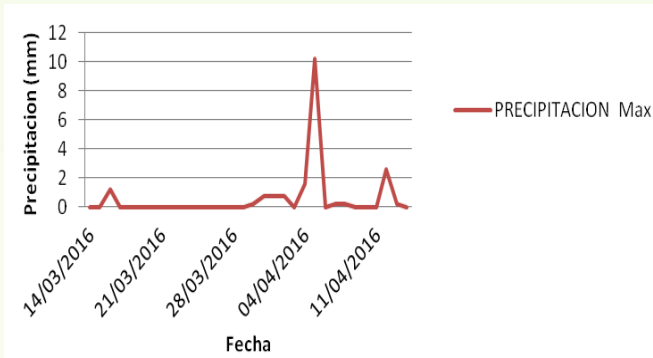


Fig. 6 Información meteorológica procesada variable "precipitación máxima" para ladrillera 2.

Fase 3. Identificación de los receptores

En las tablas 10, 11 y 12 se presentan los receptores de planta 1, 2 y 3.

TABLA 10. RECEPTORES IDENTIFICADOS DE LA PLANTA 1

No. Receptor	Longitud (m)	Altura (msnm)	Coordenadas (Geo posición)	
			Latitud	Longitud
1	62	1533	6°35'18,29" N	73°6'15,01" W
2	210	1566	6°35'23,35" N	73°6'19,81" W
3	246	1570	6°35'25,1" N	73°6'18,17" W
4	269	1573	6°35'25,88" N	73°6'17,15" W
5	340	1576	6°35'28,24" N	73°6'17,76" W
6	301	1570	6°35'26,61" N	73°6'13,96" W
7	411	1581	6°35'30,42" N	73°6'14,86" W
8	426	1574	6°35'31,04" N	73°6'18,28" W
9	334	1571	6°35'27,54" N	73°6'20,09" W
10	490	1586	6°35'32,25" N	73°6'11,23" W
11	551	1588	6°35'34,39" N	73°6'11,31" W
12	653	1575	6°35'38,28" N	73°6'13,53" W
13	645	1511	6°35'0,33" N	73°6'29,14" W
14	709	1499	6°35'1,41" N	73°6'33,47" W
15	818	1477	6°35'1,02" N	73°6'37,8" W
16	729	1494	6°35'8,9" N	73°6'38,94" W
17	778	1483	6°35'7,45" N	73°6'40,08" W
18	815	1476	6°35'4,94" N	73°6'40,23" W
19	393	1546	6°35'18,64" N	73°6'29,44" W
20	602	1591	6°35'35,63" N	73°6'9,8" W
21	684	1592	6°35'37,36" N	73°6'7,1" W
22	755	1596	6°35'39,46" N	73°6'6,11" W
23	845	1595	6°35'41,36" N	73°6'3,43" W
24	366	1502	6°35'6,1" N	73°6'20,97" W
25	138	1557	6°35'17,41" N	73°6'21,23" W
26	700	1498	6°35'8,57" N	73°6'37,80" W

TABLA 11. RECEPTORES IDENTIFICADOS DE LA PLANTA 2

No. Receptor	Longitud (m)	Altura (msnm)	Coordenadas (Geo posición)	
			Latitud	Longitud
1	49	1673	6°31'44,25" N	73°6'0,8" W
2	82	1672	6°31'43,1" N	73°6'0,78" W
3	572	1621	6°32'4,08" N	73°6'3,62" W
4	141	1669	6°31'47,08" N	73°6'4,73" W
5	645	1599	6°31'39,54" N	73°6'20,67" W
6	895	1616	6°31'30,61" N	73°6'25,54" W
7	919	1611	6°31'27" N	73°6'23,77" W
8	715	1598	6°31'29,42" N	73°6'17,04" W
9	698	1614	6°31'26,15" N	73°6'11,89" W
10	729	1608	6°31'25,59" N	73°6'13,63" W
11	643	1615	6°32'6,74" N	73°6'1,18" W

TABLA 12. RECEPTORES IDENTIFICADOS DE LA PLANTA 3

No. Receptor	Longitud (m)	Altura (msnm)	Coordenadas (Geo posición)	
			Latitud	Longitud
1	75	1556	6°37'26,79" N	73°9'32,66" W
2	941	1542	6°37'40,18" N	73°9'5,92" W
3	954	1543	6°37'38,94" N	73°9'4,88" W

Fase 4. Longitud de inmisión e isopletas de concentración

En la figura 7 se presenta las concentraciones de PM₁₀ de cada uno de los hornos receptores para la ladrillera 1.

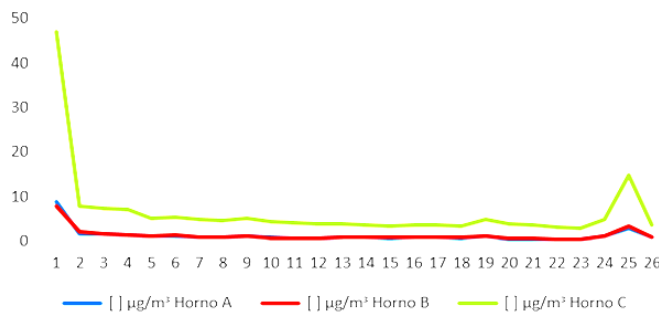


Fig. 7 Ladrillera 1. Concentraciones de PM₁₀ de cada horno a los receptores.

En la figura 8 se presenta las concentraciones de PM₁₀ de cada uno de los hornos receptores para la ladrillera 2.

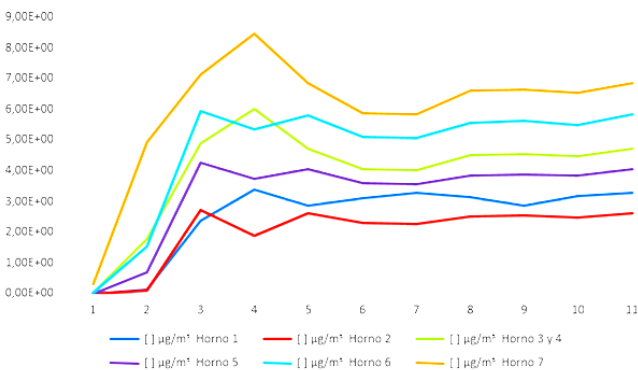


Fig. 8 Ladrillera 2. Concentraciones de PM₁₀ de cada horno a los receptores.

Fase 5. Análisis del grado de cumplimiento de los resultados obtenidos con la normatividad ambiental

Para la Ladrillera 1 hubo una concentración máxima de 51,15 µg/m³ en un periodo de 24 horas, para la Ladrillera 2 hubo una concentración máxima de 40,81 µg/m³ en un periodo de 24 horas, y de igual manera para la Ladrillera 3 hubo una concentración máxima de 17,54 µg/m³ en un periodo de 24 horas, lo cual indica que cada una de las plantas están en el rango establecido por la norma ambiental, y de este modo supone que no presentan ningún inconveniente con las autoridades ambientales competentes,

cumpliendo con todos los rangos establecidos, sin afectar de manera significativa.

IV. CONCLUSIONES

Mediante la técnica de inventario de emisiones y factores de emisión, se determinó que las plantas procesadoras de arcillas 1, 2, y 3, emiten anualmente en todos sus procesos 90377,46 kg PM₁₀/año, 212867,25 kg PM₁₀/año, y 25714,92 kg PM₁₀/año, respectivamente.

En el proceso de cocción, la ladrillera 2 presenta mayores emisiones de PM₁₀ a la atmósfera, con un total de 24206,48 kg PM₁₀/año, en comparación con la ladrillera 1, que tiene un intervalo de emisiones bajo en función de su productividad, con un total de 5269,44 kg PM₁₀/año, y todo debido a los dosificadores de carbón (Carboyetes) en 2 de sus 3 hornos, disminuyendo notablemente sus emisiones de PM₁₀ a la atmósfera, la ladrillera 3 mantiene sus emisiones en función de su productividad con un total de 3289,68 kg PM₁₀/año.

Se encontró que la salud humana y en específico el sistema respiratorio, es afectado a partir de una concentración de 200 µg/m³ (Kork M. 1999), y así se logró demostrar que dicha concentración no disminuye la capacidad respiratoria a ninguno de los receptores en el área de influencia directa.

REFERENCIAS

- [1] Reverte, P. *Industria ladrillera*. 3ra ed. Editorial Reverte. Argentina, 1979.
- [2] A.Saralegui V. J. "Modelo de Simulación de los efectos en salud producidos por la contaminación atmosférica en la región metropolitana". Tesis en Licenciatura de la Universidad de Santiago de Chile. 2003.
- [3] *Resolución 0610 de 2010 "Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006"*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 24 de marzo de 2010.
- [4] L. Mitas y H. Mitasova. *Spatial Interpolation*. 1999. In: P.Longley, M.F. Goodchild, and D.J.
- [5] J. Guerrero. (2015). Interpolación IDW (ponderada por el inverso de la distancia) en PyQGIS. [En línea]. Disponible en: <https://joseguerreroa.wordpress.com/2015/10/03/interpolacion-idw-ponderada-por-el-inverso-de-la-distancia-en-pyqgis/>
- [6] Google Earth Pro. (s.f). Google.es. [En línea]. Disponible en: <http://www.google.es/earth/download/gep/agree.html>
- [7] Lakes Environmental. (2012). WRPLOT View™, SCREEN VIEW 3 - Freeware. [En línea]. Disponible en: <https://www.weblakes.com/index.html>
- [8] U.S. Air Force, *Weather for Aircrews. AF Manual 105-5*. 1962.
- [9] U.S. *Environmental Protection Agency EPA. Guía del Usuario del Modelo SCREEN3*. septiembre de 2000.