







Artículo Original

Impacto sobre calidad del aire por emisiones de material particulado durante el transporte de mineral

Impact on air quality of emission due to particulate matter emissions during ore transport

María Cristina Olivera Ferrer ¹  <https://orcid.org/0000-0002-6902-6503>, Leonis Ragnar Medina ¹  <https://orcid.org/0000-0003-2634-9027>, Anel Hernández Garcés ¹  <https://orcid.org/0000-0002-3666-1746>, Víctor Iriarte Docampo ¹  <https://orcid.org/0000-0001-8182-1705>

Resumen:

Contexto: La actividad minera es una fuente importante de contaminación atmosférica donde se producen grandes cantidades de material particulado que provocan enfermedades respiratorias y afectaciones a los ecosistemas.

Objetivo: Determinar el impacto sobre la calidad del aire producto del transporte de mineral por caminos no pavimentados desde el frente de canteras hasta los centros de producción en la UEB Canteras Mariel, Artemisa, Cuba.

Métodos: Se determinó la emisión de material particulado producto al transporte de mineral en caminos no pavimentados empleando la metodología de las normas AP 42 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. La estimación de la inmisión de material particulado se realizó utilizando el simulador SCREEN3 el cual examina un intervalo completo de condiciones meteorológicas, incluyendo todas las clases de estabilidad y velocidades del viento para encontrar los impactos máximos.

Resultados: Se obtuvo como resultado una concentración máxima promedio de 821,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cuando los camiones no transportan material y de 1 113,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cuando llevan material para una distancia promedio de 127,7 m. Los valores obtenidos son mayores que la concentración máxima admisible estipulada en la norma cubana referida a calidad del aire NC 1020 2014.

Conclusiones: Con la metodología de la AP 42 y el simulador SCREEN3 se obtuvo un estudio de la calidad del aire en la UEB Canteras Mariel producto de la emisión de material particulado durante la transportación por caminos no pavimentados. Los resultados obtenidos están estrechamente relacionados con las tasas de emisión, que dependen a su vez de los factores de emisión, las dimensiones de los caminos y sus correspondientes áreas.

Palabras clave: canteras, dispersión, emisiones, material particulado, SCREEN3.

Abstract:

Background: Mining activity is an important source of air pollution where large amounts of particulate matter are produced that cause respiratory diseases and damage to ecosystems.

Objective: To determine the impact on air quality resulting from the transport of ore on unpaved roads from the quarry front to the production centers in the UEB Mariel Quarries, Artemisa, Cuba.

Methods: The emission of particulate matter resulting from the transport of ore on unpaved roads was determined using the methodology of the AP 42 standards of the Environmental Protection Agency of the USA. The estimation of particulate matter immission was performed using the simulator SCREEN3 which examines a full range of weather conditions, including all stability classes and wind speeds to find maximum impacts.

Results: The result was an average maximum concentration of 821.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ when trucks are not transporting material and 1113.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ when carrying material for an average distance of 127.7 m. The values obtained are higher than the maximum admissible concentration stipulated in the Cuban standard on air quality NC 1020 2014.

Conclusions: With the methodology of the AP 42 and the SCREEN3 simulator, a study of the air quality in the UEB Mariel Quarries was obtained as a result of the emission of particulate matter during transportation on unpaved roads. The results obtained are closely related to emission rates, which in turn depend on emission factors, road sizes and their corresponding areas.

Keywords: quarries, dispersion, emissions, particulate matter, SCREEN3.

Historial del artículo

Recibido: diciembre 2024

Aceptado: enero 2025

¹Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba.

Email: maryc.olivera@gmail.com

Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución NoComercial CompartirIgual (CC-BY-NC-SA) 4.0.



Citación recomendada para este artículo:

Olivera Ferrer, M. A., Ragnar Medina, L., Hernández Garcés, A. & Iriarte Docampo, V. (2025). Impacto sobre calidad del aire por emisiones de material particulado durante el transporte de mineral. *Monteverdia*, 18 (1), pp. 7-15. Recuperado de: <https://monteverdia.reduc.edu.cu/index.php/monteverdia>

Introducción

La Alianza Mundial de Derecho Ambiental establece que la minería a gran escala puede contribuir de

manera importante a la contaminación del aire. Las actividades durante la extracción de mineral, procesamiento, manipulación y transporte dependen del equipamiento, del tipo de generador de energía, de los procesos y materiales que pueden generar contaminantes atmosféricos peligrosos, tales como: material particulado, metales pesados, monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno.

Correón (2013), refiere que la emisión de polvo (material particulado) desde las superficies de trabajo durante el proceso de explotación del yacimiento puede constituir un riesgo potencial para el ambiente y las comunidades cercanas.

Por su parte, Conde et al., (2003) consideran que la actividad que genera más cantidad de partículas a la atmósfera es el transporte, el cual se realiza mediante equipos pesados (camiones) que trasladan el mineral hacia el punto de recepción a través de caminos no pavimentados.

La emisión de material particulado en las carreteras sin pavimentar ocurre debido a la pulverización del material de la superficie por el tránsito del vehículo que lanza partículas tanto por la fuerza generada, como por la ola turbulenta causada por su paso.

Los modelos de contaminación del aire juegan un papel importante en la ciencia, debido a su capacidad para investigar procesos relevantes, al igual que un mayor rol en la aplicación según Builtjes et al., (2018) al ser los únicos métodos que pueden cuantificar la relación entre emisiones y concentración-deposición, incluyendo las consecuencias de escenarios futuros y las estrategias de disminución.

Hernández et al., (2015) y Hernández (2016) analizaron que los modelos de dispersión atmosférica son una de las soluciones más extendidas al problema del comportamiento de los contaminantes en la atmósfera. Su planteamiento general sigue el esquema de un modelo de procesos o fenómenos, es decir, consisten en aplicar un modelo matemático a cada fenómeno que experimentan los contaminantes en la atmósfera, y sumar las contribuciones de todos los modelos de proceso en una ecuación de balance o conservación para cada propiedad considerada.

La presente investigación fue desarrollada en la UEB Canteras Mariel, productora de áridos, los cuales son materiales granulares utilizados en la construcción procedentes de la desintegración de las rocas,

fundamentalmente calizas y calizas dolomitizadas, que poseen dimensiones variadas desde 0,074 mm hasta un tamaño máximo especificado.

Entre estos productos podemos encontrar áridos finos y áridos gruesos, compuestos por polvo de piedra, arena, gravilla y granito respectivamente.

En las canteras el tránsito de vehículos pesados provoca la emisión de grandes cantidades de polvo, las cuales causan contaminación en el medio ambiente, repercutiendo en la salud humana. Dichas emisiones no están cuantificadas en el caso de la UEB Canteras Mariel por eso si se determinan las emisiones de material particulado en la cantera y se simula su alcance se podrá conocer su impacto negativo sobre el ecosistema.

Materiales y métodos

Ubicación y descripción del área de estudio

La determinación del impacto por emisión de material particulado sobre la calidad del aire, producto del transporte de áridos, se realizó en la UEB Canteras Mariel, yacimiento La Molina (figura 1), ubicada al Noreste de Artemisa en la parte Sur de la vía Mariel playa El Salado, entre la carretera de Machurrucutú y la Autopista Nacional Habana – Pinar del Río. El mismo se encuentra a una distancia de 5 km del poblado de El Mariel y a 7 km de Guanajay.



Figura.1. Mapa del yacimiento la molina donde se aprecian los poblados del Mariel y Guanajay.

La UEB Canteras Mariel cuenta con tres centros productivos, Molina I, II y III (Figura. 2) interconectados con un frente de canteras o yacimiento por una red de caminos no pavimentados (Figura. 3). Los principales materiales que se producen son arena, gravilla, granito y macadam.

Determinación de los factores de emisión

Los factores de emisión fueron calculados para las acti-



Figura. 2. Centros Productivos de la UEB Canteras Mariel.



Figura. 3. Frente de canteras (yacimiento) La Molina.

vidades ligadas a la transportación de material en los procesos de extracción de mineral. Para ello se empleó la ecuación 1 del modelo AP-42 de la USEPA (2006), aplicada a la emisión de material particulado en caminos no pavimentados. Las muestras de material, la velocidad y número de vehículos se obtuvieron en el terreno y los valores de sedimento menores a 74 μm en el laboratorio según la Norma Cubana 182, (2002).

Ecuación 1

$$E = K(1,7)\left(\frac{S}{12}\right)\left(\frac{S}{48}\right)\left(\frac{W}{2,7}\right)^{0,7}\left(\frac{w}{4}\right)^{0,5}\left(365 - \frac{p}{365}\right)\left(\frac{\text{kg}}{\text{km recorrido}}\right) \quad (1)$$

Donde:

K: multiplicador de tamaño de partícula (no dimensional)
 s: tenor de limo ($\phi < 75 \mu\text{m}$) del material de la superficie de la pista (%)
 S: velocidad media del vehículo (km/h)
 W: peso medio del vehículo (t)
 w: número medio de neumáticos
 p: número de días al año con precipitación pluviométrica por encima de 1 mm

Los valores del peso medio del vehículo fueron obtenidos a partir de la ficha técnica del equipo en el Manual de implementos de vehículos Randon RK430M (2012).

De acuerdo con el II Curso Internacional de aspectos geológicos de protección ambiental (2002), el multiplicador de tamaño aerodinámico K está dado en la tabla 1.

Tabla.1. Factores para el cálculo de tamaño aerodinámico según el tamaño de las partículas.

$\phi < 2,5$ μm	$2,5 < \phi < 5$ μm	$5 < \phi < 10$ μm	$10 < \phi < 15$ μm	$15 < \phi < 30$ μm
0,10	0,20	0,36	0,50	0,80

Para la determinación del tenor de limo se realizó un muestreo del material de la superficie de los caminos no pavimentados que conducen hacia los tres centros productivos (CP) Molina I, II y III, el edificio socio-administrativo y el yacimiento La Molina. En total fueron muestreados 11 puntos representativos los que se ilustran en la Figura 4.



Figura. 4. Representación de los puntos de muestreo.

Las muestras obtenidas fueron homogenizadas y cuarteadas para garantizar que estuvieran representadas todas las fracciones granulométricas que las integran. Luego fueron pesadas y sometidas a un tamizado húmedo con un tamiz de diámetro 0,0074 mm. Dicha suspensión fue decantada y secada en una estufa a convección forzada siendo determinando luego por el método gravimétrico el porcentaje de tenor de limo, que posteriormente se comparó con valores medios reportados en la literatura (Tabla 2) para caminos mineros no pavimentados (II Curso Internacional de aspectos geológicos de protección ambiental, 2002).

Tabla 2. Valores típicos del tenor de limo en caminos mineros correspondientes a diferentes tipos de yacimiento.

Tipos de actividades	Tenor de limo (%)
Canteras	14,1
Extracción de arenas	4,8
Minas de carbón:	
a) Vías de transporte	8,4
b) Área de explotación	17
Pista revestida con macadán	9,6

Para determinar el número de días al año con precipitación pluviométrica por encima de 1 mm se consultaron los datos de la estación pluviométrica del Tele-correo Guanajay la más cercana a la cantera en el Boletín Hidrológico del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (2000-2014).

Datos de entrada requeridos por el modelo SCREEN3

El algoritmo de fuente de área se basa en un enfoque de integración numérica y permite que las fuentes de área se aproximen a un área rectangular. Los datos de entrada solicitados son los siguientes:

- Tipo de fuente (área)
- Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)
- Altura del receptor sobre el suelo (m)
- Tasa o cantidad de emisión (g/m^2)
- Altura de la fuente (m)
- Longitud del lado más largo del área rectangular (m)
- Longitud del lado más corto del área rectangular (m)
- Opción de búsqueda de dirección del viento (si no, especificar ángulo deseado)

También se tiene como información necesaria a especificar las siguientes:

- Tipo de terreno: terreno simple plano, se asume que la altura del terreno es cero.
- Meteorología: No.1, meteorología completa (toma en cuenta todas las clases de estabilidad y velocidades del viento). SCREEN3 examina las seis clases de estabilidad y las velocidades del viento asociadas; examina un rango de clases de estabilidad y velocidades del viento para identificar el "peor caso de condiciones meteorológicas, esto es la combinación de velocidad del viento y estabilidad para la cual se

alcanzan los mayores niveles de concentración a nivel del terreno acorde a lo establecido por EPA (2000) y Pire (2002).

- Arreglo de Distancias automáticas: se requieren las distancias mínima y máxima, para poder calcular las concentraciones máximas en un rango de condiciones meteorológicas para la distancia mínima y máxima dada. De acuerdo con las Normas de la EPA (2000), SCREEN3 también usa una subrutina de iteración para determinar el valor máximo asociado con la distancia al metro más cercano.

Resultados y discusión

Determinación del tenor de limo en los caminos no pavimentados.

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para las muestras analizadas, el valor promedio de tenor de limo obtenido es de 24,9 %, el cual es aproximadamente el doble si se compara con los valores reportados en la literatura (tabla 2) para actividades de carácter extractivas. Por lo cual dada la dependencia directa del factor de emisión con el tenor de limo este será un elemento importante en la contaminación por polvo dentro de los centros productivos y yacimientos.

Tabla 3. Valores de tenor de limo obtenidos.

Camino	Descripción	Ancho (m)	Largo (m)	Área (m^2)	Tenor de limo (%)
1	Inicio de la barrenación	10,40	144,57	1.503,52	26,58
2	Camino alternativo del yacimiento a los Centros Productivos (CP)	18,45	435,05	8.026,67	25,17
3	Camino alternativo del yacimiento a los CP	21,61	275,15	5.945,99	23,33
4	Camino principal del yacimiento a los CP	19,43	171,37	3.329,71	19,93
5	Camino principal del yacimiento a los CP	15,36	333,52	5.122,86	27,96

6	Camino principal del CP Molina I en dirección al CP Molina II	8,06	87,46	704,92	28,15
7	Final del camino entrada a tolva receptora del CP Molina II	9,75	109,87	1.071,23	28,62
8	Camino principal próximo al CP Molina III	6,00	53,63	321,78	21,67
9	Camino no principal	17,97	91,11	1.637,24	19,87
10	Camino no principal	18,37	172,83	3.174,88	24,67
11	Camino principal próximo al edificio socio-administrativo	5,70	40,86	232,90	27,87
Valor Promedio		13,74	174,13	2.824,70	24,89

Determinación de los factores de emisión

Los factores de emisión fueron determinados para los procesos de transportación del rájón de voladura hacia los centros productivos y del producto terminado hacia los patios de acopio. Para el cálculo se tomaron los valores de tenor de limo obtenidos (Tabla 3) y los datos técnicos de los equipos no tecnológicos destinados a estas actividades (Tabla 4), camiones marca Randon RK 430 M, su velocidad media (S), peso medio (W) y número de neumáticos (w).

Tabla 4. Datos técnicos de equipamiento no tecnológico.

Equipo	Actividad	S (km/h)	W (t)	w
Randon RK 430 M	Vacío	35	20	6
	Lleno	25	50	

En la determinación de los factores de emisión solo fue considerada la fracción respirable ($<10\ \mu\text{m}$) debido al impacto negativo que tiene sobre la salud humana.

Los valores del factor de emisión (E) obtenidos para los casos analizados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados obtenidos de las muestras estudiadas.

Camino	Descripción	Actividad del vehículo	E(kg/km)	C _{máx} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	X _{máx} (m)
1	Inicio de la barrenación	vacío	4,77	1.000,0	100,0
		lleno	6,47	1.357,0	100,0
2	Camino alternativo del yacimiento a los CP	vacío	4,52	375,5	200,0
		lleno	6,13	500,7	200,0
3	Camino alternativo del yacimiento a los CP	vacío	4,19	398,2	200,0
		lleno	5,68	539,5	200,0
4	Camino principal del yacimiento a los CP	vacío	3,58	443,8	100,0
		lleno	4,85	601,3	100,0
5	Camino principal del yacimiento a los CP	vacío	5,02	564,9	200,0
		lleno	6,81	766,3	200,0
6	Camino principal del CP Molina I en dirección al CP Molina II	vacío	5,05	1.331,0	100,0
		lleno	6,85	1.805,0	100,0
7	Final del camino entrada a tolva receptora del CP Molina II	vacío	5,14	1.221,0	100,0
		lleno	6,97	1.656,0	100,0
8	Camino principal próximo al CP	vacío	3,89	1.111,0	100,0

	Molina III	lleno	5,27	1.505,0	100,0
9	Camino no principal	vacío	3,57	583,3	100,0
		lleno	4,84	790,8	100,0
10	Camino no principal	vacío	4,43	571,8	100,0
		lleno	6,01	775,7	100,0
11	Camino principal próximo al edificio socio-administrativo	vacío	5,00	1.437,0	100,0
		lleno	6,78	1.949,0	100,0
Valor Promedio		vacío	4,47	821,59	127,27
		lleno	6,06	1113,30	127,27

Se obtiene un factor de emisión promedio de 4,47 kg/km recorrido cuando los camiones viajan vacíos y de 6,06 kg/km recorrido para cuando transportan material. Teniendo en cuenta estos valores, la estimación del factor de emisión para los vehículos cuando van vacíos es menor que cuando van llenos, tanto de razón de voladura como de producto terminado. Analizando estos resultados se evidencia que los elementos que más influyen en la variación del factor de emisión son el peso y la velocidad del vehículo.

Simulación con SCREEN3

Para la estimación de la dispersión del material particulado en el aire se utilizó un modelo gaussiano considerando los caminos como una fuente emisora continua de área. Los valores del factor de emisión para cada punto de muestra están dados en $\text{kg} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{vehículo}^{-1}$, considerando doce camiones que transportan material, con un promedio de cuatro viajes por hora, dividiendo entre el área de los caminos se obtiene la tasa de emisión (Q) para cada punto en $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

Considerando la altura de la fuente a nivel del suelo (0 m), la altura del receptor dos metros y el procedimiento descrito en Materiales y métodos referente a los datos de entrada en el SCREEN 3; se procedió a calcular las concentraciones de material particulado en un intervalo

de 10 a 10 000m. Los máximos valores de concentración de material particulado ($C_{\text{máx}}$) y su distancia correspondiente ($X_{\text{máx}}$) obtenidos mediante la simulación en SCREEN3 se muestran en la tabla 5.

Para la emisión se obtiene un valor promedio de concentración máxima de $821,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cuando los camiones no transportan material y de $1113,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cuando llevan material para una distancia promedio de 127,7 m. Estos valores demuestran la relación lineal entre la tasa de emisión y la concentración lo cual es esperado, reafirmando la notable influencia del peso y la velocidad de los camiones en la emisión de material particulado. El elevado valor de las concentraciones también está influenciado por las dimensiones de los caminos, su correspondiente área y el flujo de camiones. El resultado de la distancia a la cual se alcanzan estas concentraciones puede ser producto de un efecto acumulativo debido a la distribución espacial de los caminos y las diversas condiciones meteorológicas conservadoras que toma en consideración el simulador. El efecto del peso de las partículas comparadas con el de los gases no influye en este caso pues SCREEN3 no distingue entre especies. Para considerar este aspecto deberían emplearse modelos de calidad de aire refinados.

Analizando la información obtenida en la tabla 3; el camino 2 es el más largo con 435 m y el de mayor área con $8\,026,67 \text{ m}^2$ y le corresponde las menores concentraciones de material particulado de $375,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $500,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ debido a que las tasas de emisión son las menores, $7,51 \cdot 10^{-6} \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ y $1,02 \cdot 10^{-5} \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ para los camiones vacíos y llenos respectivamente.

El camino 11 posee las menores dimensiones y por tanto la menor área ($232,90 \text{ m}^2$), unido a los valores de tasas de emisión que le corresponde de $2,86 \cdot 10^{-4} \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ y $3,88 \cdot 10^{-4} \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ para los camiones vacíos y llenos respectivamente, se obtienen las mayores concentraciones de material particulado $1\,437 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $1\,949 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto se debe a que posee las mayores tasas de emisión producto a los elevados valores del factor de emisión de 5 kg/km y 6,78 kg/km para camiones vacíos y llenos respectivamente.

En un primer grupo de gráficos obtenidos de SCREEN 3, se muestra la inmisión simulada de material particulado para el camino 2 (Figura. 5 y Figura. 6).

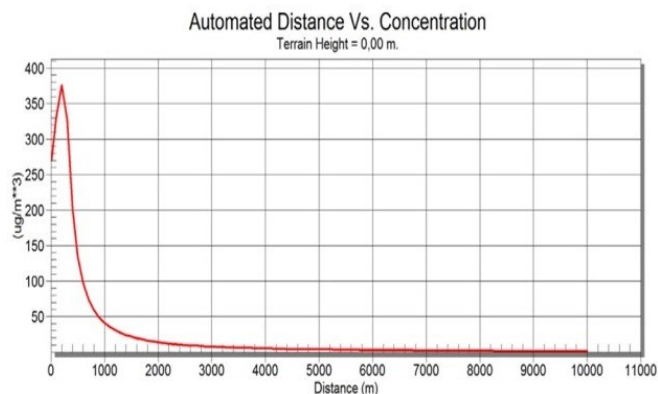


Figura. 5. Inmisión simulada de material particulado para el camino 2 y vehículo vacío.

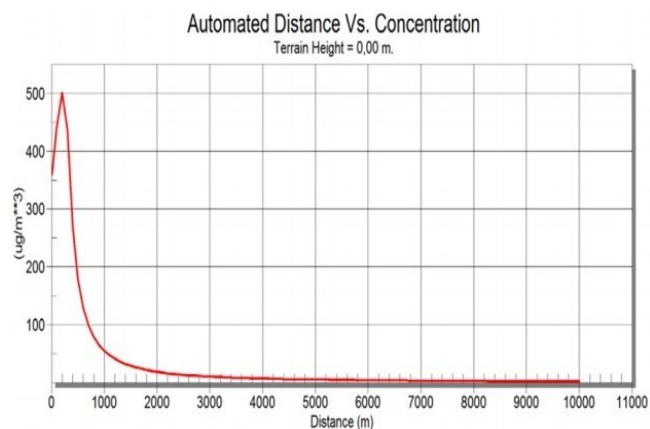


Fig. 6. Inmisión simulada de material particulado para el camino 2 y vehículo lleno.

Los valores obtenidos, igualmente con SCREEN 3, para el camino 11, correspondientes al vehículo lleno y vacío, han sido graficados en la Fig. 7 y la Fig. 8., que aparecen a continuación.

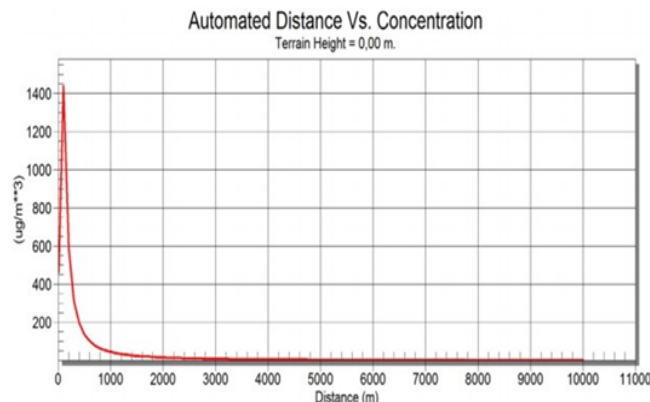


Figura.7. Inmisión simulada de material particulado para el camino 11 y vehículo vacío.

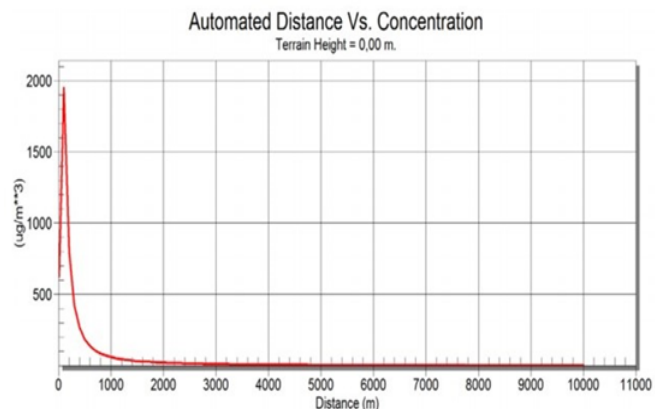


Figura. 8. Inmisión simulada de material particulado para el camino 11 y vehículo lleno.

Según la Norma Cubana 1020:2014 calidad del aire-contaminantes-concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables, se pueden observar las concentraciones máximas admisibles de PM10 en el aire, siendo $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un período de una hora, para partículas de diámetro aerodinámico menor a diez micras (PM10 el valor establecido, sin embargo todos los resultados obtenidos reflejados en la tabla 3 superan de forma alarmante dicho valor, siendo las concentraciones obtenidas cuatro y cinco veces mayores que la estipulada. Estas grandes concentraciones son el resultado de que los caminos carezcan de una capa de rodamiento y el flujo constante de camiones en operación.

Los valores máximo-admisibles de contaminantes en el aire están estipulados para zonas habitables y en las cercanías de la cantera no se encuentra ningún poblado o zona residencial. Los trabajadores del centro están expuestos a dichas emisiones de material particulado y su consecuente riesgo para la salud, donde la concentración promedio admisible es $8,11\text{mg}/\text{m}^3$ para toda la jornada laboral, encontrándose los valores obtenidos dentro de lo estipulado. Esto no quiere decir que pueda descuidarse la salud laboral en la cantera pues a los polvos pueden asociarse microorganismos que pueden causar enfermedades respiratorias.

Conclusiones

Se realizó un muestreo del material de la superficie de los caminos no pavimentados que conducen hacia los tres centros de producción de la UEB Canteras Mariel, obteniéndose como factor de emisión promedio de material particulado debido al tránsito $4,47 \text{ kg}/\text{km}$ recorrido cuando los camiones viajaban vacíos y de

6,06 kg/km recorrido para cuando transportaban material. Las variables que más influyeron en estos resultados fueron la velocidad y peso del vehículo. Seguidamente se realizó la simulación de la dispersión de material particulado empleando el modelo SCREEN3, el cual arrojó como resultado una concentración máxima promedio de 821,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cuando los camiones no transportan material y de 1 113,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cuando llevan material para una distancia promedio de 127,7 m. Estos resultados están estrechamente relacionados con las tasas de emisión, que dependen a su vez de los factores de emisión, las dimensiones de los caminos y sus correspondientes áreas.

Recomendaciones

Se recomienda estimar las emisiones provenientes del frente de canteras producto de las explosiones y perforaciones, del movimiento de buldoceo, de la carga y descarga de los áridos, de las operaciones de trituración y cribado y de las emisiones difusas en la cantera.

Financiamiento de la investigación

Esta investigación se ha desarrollado bajo los auspicios de la Empresa Nacional de Canteras, Cuba y la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”.

Contribución de los autores

Olivera Ferrer: Gestión de proyectos, conceptualización, investigación, análisis formal, software, redacción - revisión y edición.

Ragnar Medina: Conceptualización, investigación, análisis formal, software, redacción – primera redacción.

Hernández Garcés: Gestión de proyectos, supervisión, conceptualización, análisis formal, software, redacción - revisión y edición.

Iriarte Docampo: Redacción - revisión y edición.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Referencias

Brasil. UNESCO. (2002). Notas de clases dictadas en

el II Curso Internacional de aspectos geológicos de protección ambiental.
<http://www.ingenieroambiental.com/4012/campinasprimeras.pdf>

Builtjes, P. (2009). Major twentieth century milestones in air pollution modeling and its application.
https://www.researchgate.net/publication/225954252_Major_Twentieth_Century_Milestones_in_Air_Pollution_Modelling_and_Its_Application

Cerrejón. (2013). Comité Veedor de calidad del aire. Informe de gestión Calidad de aire.
http://www.cerrejon.com/site/desarrollo-sostenible-responsabilidad-social-rse/medio_ambiente/gestión-ambiental/control-de-calidad-del-aire.aspx

Conde, A.P., Blet I.C., & González L.M. (2003). Modelación de emisiones de partículas debidas al transporte de mineral en minas a cielo abierto. Universidad Minero - Metalúrgica de Moa.
<https://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/2426>

Cuba. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Boletín Hidrológico (2000-2014).

Hernández, A. (2016). Sistema de evaluación de la dispersión episódica de contaminantes Atmosféricos. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=123207>

Hernández, A., Jauregui, U., Souto, J. A., Casares, J. J., Saavedra, S., Guzmán, F. & Torres, A. (2015). Estado actual de los modelos de dispersión atmosférica y sus aplicaciones. UCE Ciencia. Revista de postgrado, 3(2).
<http://uceciencia.edu.do/index.php/OJS/article/viewFile/49/45>

Norma Cubana 182. (2002). Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074 mm. Método de ensayo.1ra Edición.
<https://descargas.epconsgtmo.co.cu/Normalizacion%20Actualizadas/Normas%20de%20la%20construccion/Normas%20Materias%20Primas/Aridos/NC%20182.pdf>

Ordoñez, Y. C., Reinoso, M., Hernández, A., & Canciano, Y. (2018). Aplicación de modelos simplificados para la dispersión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio., Revista Cubana de Química, Vol. 30, No. 1, pp. 90-103.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-54212018000100008

Pire, S. (2002). Contaminación Atmosférica.

<http://www.insmet.cu/emisiones/pdf/CUBIER~1.PDF>

Randon. (2012). Manual de implementos vehículos Randon RK430M. (pp. 1-5). 2da Edición, Sección 2. <https://randon.com.br/es/downloads>

US. (2010). Alianza Mundial de Derecho Ambiental Elaw. Guía para evaluar EIAs de proyectos mineros. <https://www.elaw.org/files/miningeiaguidebook/Guia%20%20para%20Evaluar%20EIAs%20de%20Proyectos%20Mineros.pdf>

US. (2000). Environmental Protection Agency. Guía del Usuario del Modelo Screen 3. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100BKEW.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C00thru05%5CTxt%5C00000028%5CP100BKEW.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL>