

Calidad del aire en zona de nueva planta de cementos en Santiago de Cuba

Quality of the air in area of new plant of cements in Santiago de Cuba

MSc. Waldemar Sánchez-Rivera^I, MSc. Telvia Arias-Lafargue^{II}, Dr. Manuel Díaz-Velázquez^{II}

^IGEOCUBA Oriente Sur, Cuba; ^{II}Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

tal@uo.edu.cu

Resumen

En Santiago de Cuba se construirá una nueva fábrica de cementos por lo que serán grandes los movimientos de tierra y mineral durante las etapas de construcción y explotación de la misma. La etapa constructiva tiene una duración aproximada de tres años y en sus diferentes fases se moverán cerca 650 000 m³ de tierra, generando niveles elevados de contaminación por partículas suspendidas. El estudio de la calidad del aire en la zona de construcción demuestra que la calidad higiénica del aire en el área bajo investigación se encuentra ya contaminada con partículas suspendidas de polvo, las cuales están compuestas fundamentalmente por los metales pesados Fe, Co y Ni; aunque también se presentan dos metales no pesados (Mn y Si) en altas concentraciones. El reparto Abel Santamaría y la Cueva de los Majaes destacan por los niveles de partículas de polvo suspendidas como las zonas más contaminadas.

Palabras clave: contaminación del aire; correlación de variables ambientales.

Abstract

In Santiago from Cuba a new factory of cements will be built by what will be big the earth movements and mineral during the construction stages and exploitation of the same one. The constructive stage has a three year-old approximate duration and in its different phases they will move 650 000 earth m³ close, generating high levels of contamination for suspended particles. The study of the quality of the air in the construction area demonstrates that the hygienic quality of the air in the area lowers investigation is already polluted with suspended particles of powder, which are compound fundamentally for the metals heavy Fe, Co and Ni, although two non heavy metals are also presented (Mn and Si) in high concentrations. The allotment Abel Santamaría and the Cave of the majaes highlight for the levels of suspended powder particles as the polluted areas.

Keywords: contamination of the air; correlation of environmental variables.

Introducción

El 11 de julio de 1997 se promulga la Ley N°81 “Del Medio Ambiente”, en ella se establece la Evaluación de Impacto Ambiental, como un instrumento de la política y la gestión ambiental, sobre la base de la experiencia acumulada, desde 1995 hasta 1997.

En la actualidad, el país se encuentra inmerso en un proceso de desarrollo económico, sustentado en parte por los beneficios que brinda la Alianza Bolivariana para las Américas (Alba). La primera inversión industrial fue el proyecto de construcción de una nueva planta de cementos prevista a ejecutar en Santiago de Cuba, al sureste de la ciudad homónima. En sus diferentes fases estará a cargo de la Empresa Mixta Cementos Santiago S.A., perteneciente al Grupo Empresarial del Cemento (Gecem), del Ministerio de la Construcción (Micons).

Como parte del proceso de compatibilización de las inversiones en Cuba, se exige, a través de la Resolución 132/2009 la ejecución del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental el que tiene, como primeras etapas para su desarrollo, la realización de los estudios de línea base ambiental e impacto ambiental, los mismos son procesos continuos y dinámicos que permite determinar, predecir, interpretar, comunicar y vigilar los posibles efectos que una inversión o actividad antrópica puede provocar sobre el medio ambiente [1, 2].

La primera etapa del estudio corresponde a la elaboración de la Línea Base Ambiental (LBA), cuyo objetivo principal es, describir el área potencial de influencia de los impactos directos de dicha inversión en los factores del medio. Uno de estos factores que puede sufrir afectación por la dispersión y concentración de partículas en suspensión es “el aire”, debido a las actividades que se desarrollarán durante la construcción y explotación de la nueva planta de cementos [1].

Cuando las concentraciones de las partículas en suspensión (partes pequeñas de materias procedente del suelo, rocas, biota, etc. que son suspendidas por una acción) sobrepasan los niveles permisibles por las normas cubanas [3-5], provocan afectaciones severas en la salud de las personas, modifican el hábitat

de las especies de la flora y la fauna, presentes en el área y dificultan el funcionamiento de los objetivos socio-económicos y patrimoniales.

Por ello, a través de la realización de la línea base ambiental se analizan los niveles actuales (concentración de partículas suspendidas de polvo (cPsp.) del fondo atmosférico) y perspectivas de este parámetro en varios puntos dentro del área de influencia, los cuales se escogerán teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Urbanizaciones actuales.
- Áreas protegidas ambientalmente.
- Objetos socioeconómicos de alto peso (focos contaminantes).
- Áreas de emplazamiento de los principales objetos de obra de la nueva inversión.
- Sitios patrimoniales.
- Influencia de las variables climáticas.

Por todo lo anteriormente expuesto, el objetivo concreto de este trabajo, es diagnosticar el área de influencia, la generación directa de impactos, así como la calidad higiénica del aire.

Fundamentación teórica

El planeta hoy en día se está deteriorando, debido al uso irracional de los recursos naturales, emisiones de sustancias tóxicas y radiactivas, entre otras actividades antropogénicas. Cada año, cientos de millones de personas sufren de enfermedades respiratorias y otras, asociadas por la contaminación del aire [6].

El hombre en su actividad cotidiana provoca impactos que ocasionan cambios en el medio ambiente, afectándose los recursos naturales. La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial y constituye un fenómeno que tiene incidencia en particular sobre la salud del hombre.

En el país, cada día se percibe con mayor intensidad la creciente preocupación pública e institucional por la conservación y protección del medio ambiente, lo que ha conllevado a la transformación de las posturas de la industria y el comercio hacia esta importante cuestión, al reconocimiento de la necesidad de

un adecuado desempeño ambiental para enfrentar los retos de la competencia, las crecientes exigencias de los consumidores y garantizar el éxito futuro de la empresa u organización [7].

La Estrategia Ambiental Nacional declara como una de las funciones comunes a todos los Organismos de la Administración Central del Estado (Oace), la de incorporar la Dimensión Ambiental a los proyectos de inversión, planes, programas y demás acciones que realicen, garantizando el desarrollo sostenible [8, 9].

Uno de los factores que indudablemente conspira contra ello es la preocupación de las organizaciones y empresas por los costos que esta decisión implica, los cuales dependen de factores como el tamaño de la organización, los tipos de actividades, productos y servicios, así como los impactos ambientales negativos que generan.

En Cuba resulta cada vez mayor el número de empresas grandes, medianas y pequeñas que han establecido o pretenden establecer una política ambiental acorde a los requerimientos de su actividad y a las expectativas de la sociedad. Como parte de esta política ambiental se encuentra el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, que tiene como etapas para su desarrollo la realización del estudio de línea base ambiental y el estudio de impacto ambiental.

Materiales y métodos

Uno de los acápites fundamentales de la línea base ambiental es la determinación de la calidad del aire, el cual manifiesta la calidad higiénica del fondo de la cuenca atmosférica en el radio de acción de cualquier institución, industria o empresa en perspectiva de construcción o explotación [1].

En los estudios de impacto ambiental se trata de manera consecuente el acápite calidad del aire, en el cual se analizan [1]:

- Sustancias contaminantes que deben ser obligatoriamente determinadas (Fondo de la Cuenca Atmosférica): SO₂, SR₂, NO_x, O₃.
- Partículas en suspensión:
 - Totales
 - Menores o iguales a 2,5 micrones de radio

- Mayores de 2,5 micrones de radio,
- Composición química de las partículas de materia en suspensión, determinando las siguientes sustancias:
 - SO_4^{-2} , NO_3^- , NH_4^+ (metales tóxicos).
- Composición química de la lluvia
 - SO_4^{-2} , NO_3^- , NH_4^+ pH.

En la nueva planta de cementos serán grandes los movimientos de tierra y mineral durante las etapas de construcción y explotación de la misma, teniendo su etapa constructiva una duración aproximada de tres años. En sus diferentes fases se ejecutarán los procesos de desbroce y replanteo donde se moverán aproximadamente 500 000 m³ de tierra, en el de excavación y rehincho unos 150 000 m³, los que serán movidos y transportado con excavadora frente pala, cargador, buldócer, retro con martillo rompedor y camiones volteo de 40 a 60 t.

También se ejecutará un vial principal que parte desde la intersección con la carretera de Siboney hasta la planta de cementos, el que vincula zonas de viviendas localizadas en el área y al que se le propone una sección transversal de cuatro carriles de 3,50 m cada uno; una longitud de 3 330 m, con una sección variable de los cuales 1 460 m del trazado vial estarán dentro del área urbanizada (Micro II, Micro III pertenecientes al Distrito Abel Santamaría).

En la etapa de explotación, en los yacimientos se realizarán extracciones de mineral con los mismos equipos antes mencionados, los volúmenes de extracción estarán en el orden de las 19 200 t/d, mientras que las emanaciones a través de las chimeneas del horno, molinos y trituradoras se prevé que estén en alrededor de los 25 mg/Nm³.

Todo lo descrito anteriormente da lugar a que exista alteración de la calidad del aire por las emanaciones de partículas de polvo en suspensión generadas en cada una de estas etapas y, por consiguiente, afectación puntual y persistente en el ecosistema presente en el área.

Identificación de las áreas relevantes

Microlocalización de la nueva planta de cementos y su área de influencia [7]:

Para la realización del Estudio de Línea Base Ambiental se definió como área de influencia directa de los proyectos de la nueva planta de cementos, al territorio limitado por el norte con la carretera de Siboney, por el sur con la isobata de los 200 m, al este con las inmediaciones del conjunto de cuevas del área protegida Siboney - Justicí y hacia el oeste con la costa occidental de la bahía de Santiago de Cuba, alcanzando una superficie de aproximadamente 60 km². Contiene zonas urbanas, suburbanas, y de interfase tierra-mar.

Desde el punto de vista político-administrativo incluye los distritos Antonio Maceo y Abel Santamaría.

➤ Áreas relevantes [10]

Durante la investigación se identificaron como áreas relevantes aquellas donde se generarán y emitirán partículas en suspensión de polvo y también las que serán receptoras de este tipo de contaminación atmosférica.

Entre las áreas relevantes identificadas están:

1. Fábrica de Cementos (Actual).
2. Versalles Comunidad.
3. Rotonda del Aeropuerto.
4. Oeste del Aeropuerto.
5. Campo de Antenas (Aeropuerto).
6. Campo de Antenas en el yacimiento (Aguadores Este).
7. Granja Avícola: Clodomira Ferrales (planta de cementos).
8. Granja Avícola: Mariana Grajales (yacimiento El Salado).
9. Micro 3 del Reparto. Abel Santamaría (asentamiento poblacional).
10. Micro 1 del Reparto. Abel Santamaría (asentamiento poblacional).
11. Granja Siboney.
12. Altura de Sardinero.
13. Punta Justicí.

14. Cueva de los Majases (Área protegida).

- Selección de los puntos a investigar [10].

Para la realización de la línea base ambiental se seleccionaron 14 puntos y para la investigación se seleccionaron seis puntos, donde incidió fundamentalmente la microlocalización de la planta y sus yacimientos, los cuales repercutirán negativamente en la condición higiénica del aire en el proceso de construcción y su explotación; además de la influencia que pueden ejercer las variables climatológicas (temperatura, dirección y velocidad del viento) sobre el área figura 1. También se tuvo en cuenta entre otros, los siguientes criterios:

- urbanizaciones actuales o en perspectivas,
- objetos socioeconómicos de alto peso,
- sitios patrimoniales.

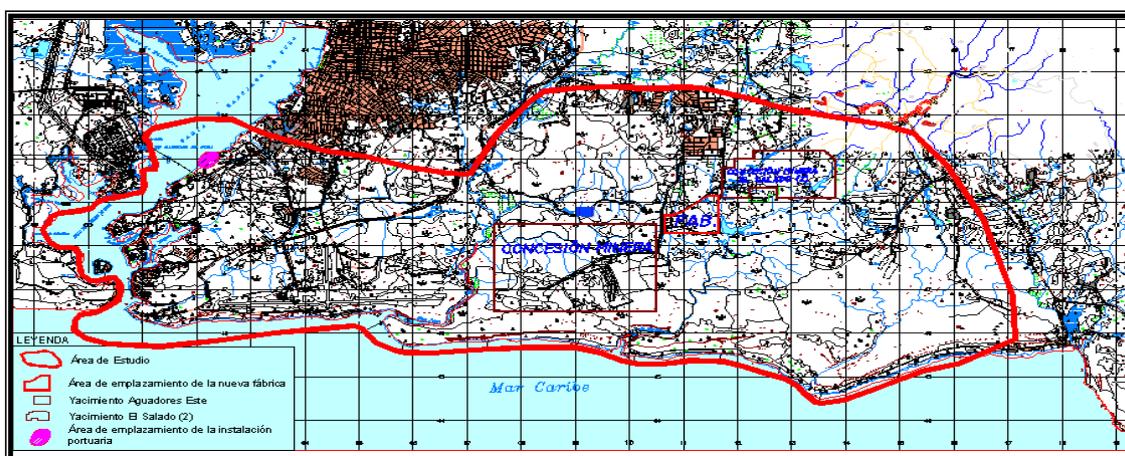


Fig. 1. Microlocalización del área de influencia directa de los proyectos de la nueva fábrica de cementos

En la tabla 1 están sombreados de amarillo aquellos puntos que serán de interés durante la investigación y de azul los que servirán de referencia. Lo que no están sombreados no son de utilidad para la investigación.

Tabla 1

Coordenadas y ubicación de los puntos de muestreo para determinación de contaminantes en la cuenca atmosférica

Puntos	Coordenadas		Ubicación
	X	Y	
1	645 743	150 688	Fábrica de Cementos (Actual)
2	647 532	150 682	Versalles Comunidad
3	647 163	149 275	Rotonda del Aeropuerto
4	645 889	148 004	Oeste del Aeropuerto
5	648 316	148 150	Campo de Antenas (Aeropuerto)
6	653 436	148 856	Campo de Antenas en el yacimiento (Aguadores Este)
7	654 558	149 950	Granja Avícola: Clodomira Ferrales (planta de cementos)
8	656 107	150 071	Granja Avícola: Mariana Grajales (yacimiento El Salado)
9	655136	151 289	Micro 3 del Rpto. Abel Santamaría (asentamiento poblacional)
10	654 655	152 524	Micro 1 del Rpto. Abel Santamaría (asentamiento poblacional)
11	659 499	149 298	Granja Siboney
12	654 747	148 428	Altura de Sardinero
13	656 772	146 241	Punta Justici
14	659 827	147 383	Cueva de los Majases (Área protegida)

El período de monitoreo, el cual comprendió los meses de abril y mayo del año 2009 (sesentas días consecutivos) y los parámetros de calidad que fueron establecidos para todos los puntos (ubicar los puntos, entre 5 y 15 m de las posibles fuentes generadora y receptoras con una altura de 1,5 a 2 m, serán colocados en correspondencia con los ejes cardinales y diagonales de las fuentes), los cuales están en correspondencia con las normas cubanas [3, 4, 11]. Los resultados obtenidos son vigentes ya que la zona estudiada no ha sufrido cambio. Solo que el clima ha cambiado en cuanto a las temperaturas y régimen de precipitaciones.

- Materiales.
 - Insumos.
 - ✓ Bases cartográficas 1:25 000,
 - ✓ Martillo, estacas, señalización.
 - Tecnología.
 - ✓ Transporte.
 - ✓ GPS: para ubicar los puntos en el terreno mediante sus coordenadas,
 - ✓ PC Pentium 4 a 3.6 dual Gigahertz: para realizar los trabajos cartográficos y todo lo relacionado con la investigación,

- ✓ Cámara digital Sony: para la toma de evidencia durante los trabajos de campo,
- ✓ Anemómetro Digital, modelo: PCE-008: para obtener valores de temperatura del aire en °C., dirección y velocidad del viento m/s.
- ✓ El MiniVol Airmetrics: para captar la concentración de las partículas de polvo en un flujo de aire en un tiempo.

Para la realización de las mediciones y muestreo se utilizaron las siguientes técnicas, software y métodos:

- ✓ Entrevistas con los inversionistas, con el fin de tener en cuenta sus criterios sobre el trabajo a realizar.
- ✓ Software: AutoCad 2007 y Microsoft Office 2007: para trabajar cartográficamente, señalar y ubicar la nueva fábrica de cementos, su área de influencia y los puntos de muestreo.

Instrumentos y materiales para obtener concentración de partículas de polvo suspendidas por el método gravimétrico: Balanza analítica; Filtros de cuarzo, Teflón, Teflón recubierto de vidrio o papel Watman, de 47 mm. Diámetro; Placas Petri Ø 47 mm (portafiltros); Desecadora; Cajas para transportar los portafiltros; Grasa Apiezon; Silicona y Solvente para mezclar y para limpiar la grasa – hexano.

Instrumentos y materiales para obtener la composición química de las partículas de polvo suspendidas por el método Espectrofotometría de Absorción Atómica: Equipo de absorción atómica; Nebulizador; Quemador; Sistema óptico; Detector o transductor; Amplificador o sistema electrónico; Sistema de lectura; Plancha de calentamiento; Mufla y Balanza analítica.

Reactivos y materiales:

- Ácido clorhídrico 6 mol/L.
- Ácido clorhídrico concentrado ρ : 1,19 g/cm³.
- Peróxido de hidrogeno 30 %.
- Mezcal de fundente: Bórax y Carbonato de sodio.
- Volumétricos de 50 mL.

- Crisoles de platino.
- Pipetas de 1 y 5 mL.
- Frasco lavador.
- Probetas de 25 mL.
- Vasos de precipitado de 250 mL.
- Bulbo o peras.
- Desecadoras.
- Embudos.

Presentación y análisis de resultados

Teniendo en cuenta la extensión del área de estudio y la existencia de diferencias en cuanto a las actividades principales que se realizan, para una mejor comprensión de los análisis a realizar se dividió el área en las siguientes zonas:

- Zona de los yacimientos y emplazamiento de la nueva fábrica.
- Zona de ubicación de las instalaciones portuarias.
- Zona del aeropuerto.
- Zona del área protegida Siboney-Justicí.

Como resultado de la toma de muestras y el análisis gravimétrico efectuado a las mismas se obtuvieron valores puntuales durante 60 días de concentración de las partículas de polvo en suspensión (cPsp.). En la figura 2 se grafican los 14 puntos de muestreo, aunque en la investigación solo se analizarán los tres de interés y de referencia. De los seis seleccionados en la investigación, el punto 14 Cueva de los Majases ubicado en el área protegida es el de mayor concentración de Psp.

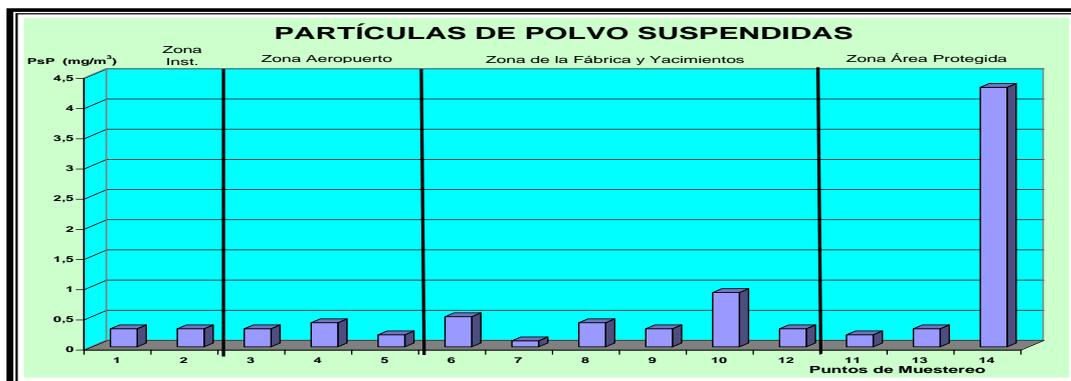


Fig. 2. Concentración de partículas de polvo en suspensión en los catorce puntos de muestreo

Análisis de los valores medio de concentración de partículas de polvo suspendidas en cada uno de los puntos seleccionados en la investigación

La figura 3 refleja los valores de concentración media de las partículas suspendidas de polvo en los puntos de investigación y la concentración máxima admisible (CMA) en mg/m³, según lo establecido en la Norma Cubana 39 [3].

Como se puede apreciar son tres las zonas con concentraciones superiores a las CMA: Campo de Antenas en el Yacimiento (Aguadores Este); G A: Mariana Grajales y Cueva de los Majases; encontrándose la Comunidad Micro III del Reparto Abel Santamaría con los valores límites. Por lo que se puede concluir que el 50 % de los puntos se encuentran por encima de la CMA. El 16,7 % en el límite y el 33,3 por debajo del límite.

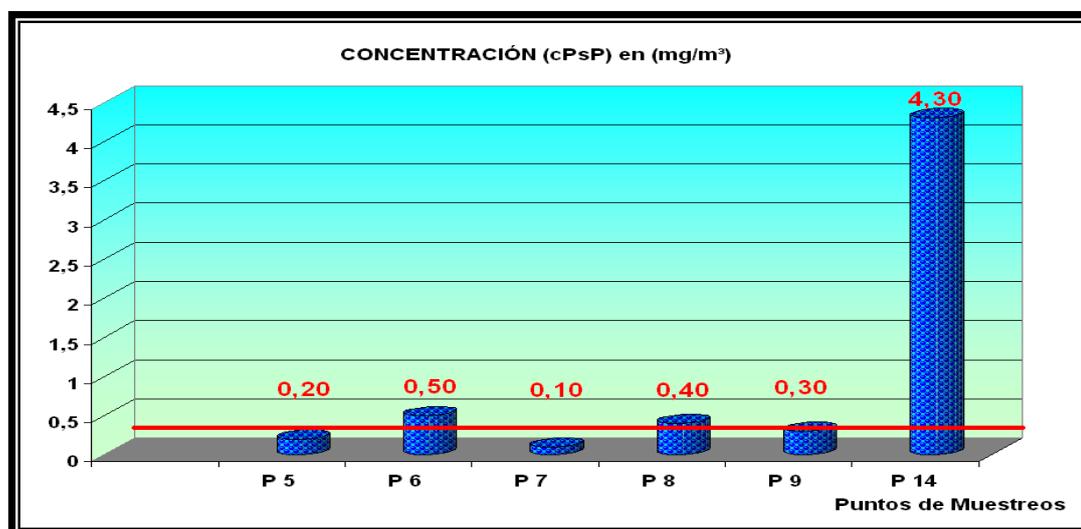


Fig. 3. Concentración de partículas de polvo en suspensión en los seis puntos de muestreo a investigar

Valor de Concentración Máxima Admisible por norma. CMA instantánea a 20 minutos en exposición

Es decir que la calidad higiénica del aire en el área bajo investigación se encuentra en sentido general afectada.

Análisis de los valores medio de concentración de los elementos que componen las partículas de polvo suspendida en cada punto

En las figuras que se muestran a continuación (desde la 4 a la 11) se reflejan las concentraciones de los elementos metálicos que fueron identificados en los seis puntos de muestreo de la investigación.

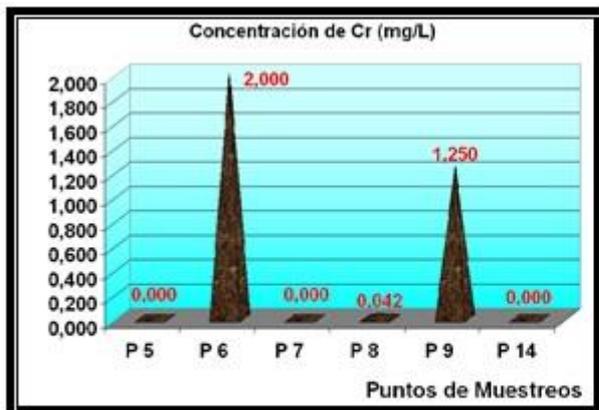


Fig. 4. Concentración de Cr en los seis puntos

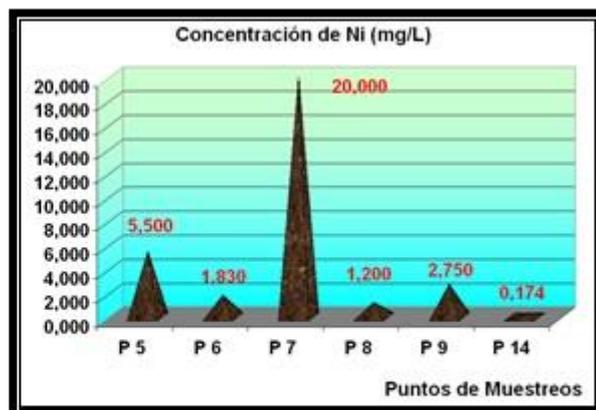


Fig. 5. Concentración de Ni en los seis puntos

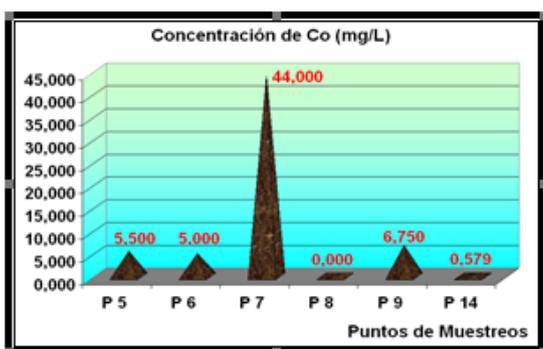


Fig. 6. Concentración de Co en los seis puntos a investigar

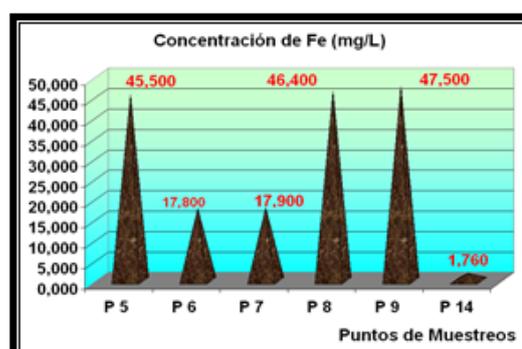


Fig. 7. Concentración de Fe en los seis puntos a investigar

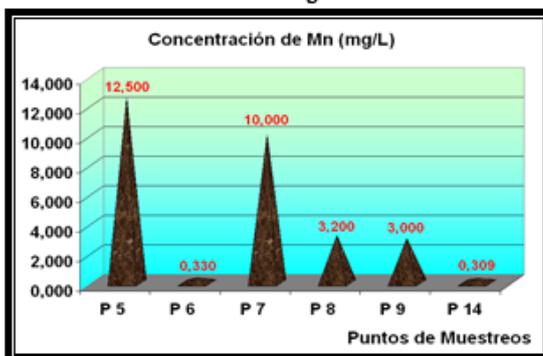


Fig. 8. Concentración de Mn en los seis puntos

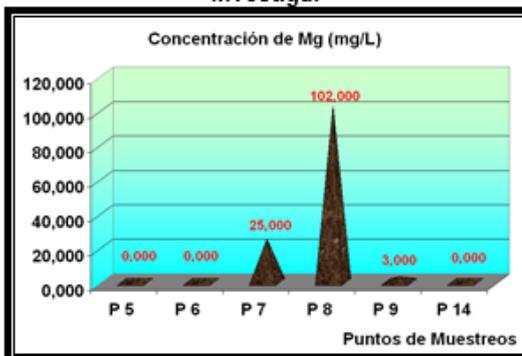


Fig. 9. Concentración de Mg en los seis puntos

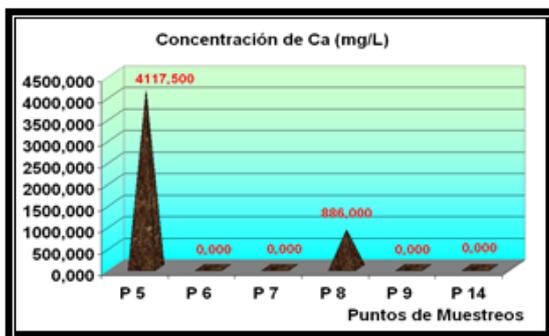


Fig. 10. Concentración de Ca en los seis puntos a investigar

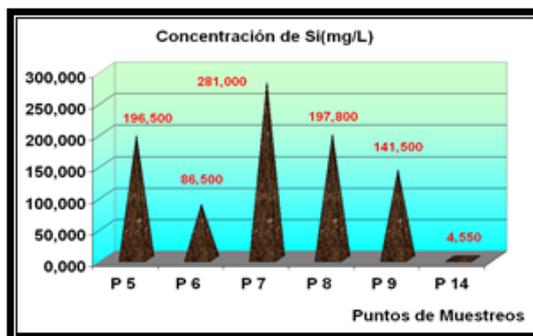


Fig. 11. Concentración de Si en los seis puntos a investigar

En la tabla 2 se muestra la concentración media de las partículas suspendidas de polvo, de los elementos que la componen en los puntos de investigación; además los valores CMA por la Norma Cubana 39 y los especificados en *Dangerous Properties of Industrial Materials* de Irving Sax.

Tabla 2

Concentración de elementos químicos identificados en mg/L

Ptos	Ubicación	cPsp. mg/m ³	Concentración de elementos químicos identificados en mg/L							
			Cr.	Ni.	Co.	Fe.	Mn.	Mg.	Ca.	Si
Zona del Aeropuerto (interés)										
5	Campo de Antena (Aeropuerto)	0,20	0,00	5,50	5,50	45,50	12,50	0,00	4117,50	196,50
Zona de Yacimientos y Emplazamiento de la Nueva Fábrica (referencia)										
6	Campo de Antenas en el Yacimiento (Aguadores Este)	0,50	2,000	1,830	5,000	17,800	0,330	0,00	0,000	86,500
7	G A: Clodomira Ferrales	0,10	0,000	20,00	44,000	17,900	10,00	25,00	0,000	281,000
8	G A: Mariana Grajales	0,40	0,042	1,200	0,000	46,400	3,200	102,00	886,000	197,800
Zona del área protegida (interés)										
9	Comunidad Micro -3 del Rpto. Abel Santamaría	0,30	1,250	2,750	6,750	47,500	3,000	3,000	0,000	141,500
14	Cueva de los Majaes	4,30	0,000	0,174	0,579	1,560	0,309	0,000	0,000	4,550
Valores Normados		0,30	0,001	0,001	0,0001	0,015	0,005	0,00001	0,005	0,0045

- Los valores marcados en azul significan que los mismos están por encima del valor tolerable en la norma. Los de color rojo valores máximos admisibles por norma y los que están en verde el límite permisible por norma; mientras que los negros son valores que están en norma o no detectados durante los ensayos.
- El valor cero es que la concentración se encuentra por debajo del valor mínimo de detección del equipo.

- De los tres puntos contaminados con partículas en suspensión de polvo, dos pertenecen a los puntos de referencia (6 y 8) y uno a los puntos de interés (14); además uno de los puntos de interés se encuentra en el límite admisible (9).
- Los dos puntos que están dentro de parámetros (5 y 7) tienen una alta congregación de elementos metálicos pesados, donde la concentración de estos es superior a lo establecido en la norma.
- Todos los puntos tienen alta concentración de dos de los metales pesados Ni y Fe. También hay dos metales no pesados Mn y Si en altas concentraciones.
- El Co se encuentra en alta concentración en el 83 % de los puntos, Cr en el 50 % de estos.
- En todos los puntos se observa alto contenido del 75% de los metales pesados.
- Los puntos (5 y 8) presentan elevado contenido de Ca.
- El 50 % de los puntos (7, 8 y 9) tienen alta concentración de Mg.
- El Si se encuentra en concentraciones muy elevadas por encima de la norma en todos los puntos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se hace evidente que el responsable ambiental de la fábrica, junto con los responsables de la implantación del Sistema de Gestión de Salud, Seguridad y Ambiente, deberá evaluar, de forma permanente, la posibilidad de aplicar nuevas tecnologías y procedimientos que permitan reducir los impactos negativos o riesgos ambientales que serán generados por las emisiones de partículas en suspensión de polvo durante la construcción y explotación de la planta de cementos nueva.

Conclusiones

- 1. Se diagnostica como área de influencia y de generación directa de impactos: el Campo de Antenas en el yacimiento (Aguadores este), la Granja Avícola Clodomira Ferrales (planta de cementos), la Granja Avícola Mariana Grajales (yacimiento El Salado), entorno en el cual**

se prevé realizar la explotación minera y construcción de la nueva fábrica de cementos.

- 2. La calidad higiénica del aire en el área bajo investigación se encuentra contaminada con Psp, las cuales están compuestas fundamentalmente por los metales pesados Ni y Fe, y que a exposiciones prolongadas de los mismos, provoca trastornos severos para la salud humana.***

Referencias bibliográficas

1. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CICA. 2009). Guías para la realización de las Solicitudes de Licencias Ambientales y los Estudios de Impacto Ambiental.
2. Compañía Especializada en Soluciones Integrales Geográficas y Medio Ambientales (CESIGMA, S.A.). 9 de septiembre del 2009. Estudio de Impacto Ambiental Ferroníquel Minera S.A.
3. Norma Cubana NC39: 2009 Calidad del aire requisitos higiénico-sanitarios. Enmienda 1
4. Norma Cubana NC111: 2004 Calidad del aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos
5. Norma Cubana NC1020: 2014 Calidad del aire-contaminantes-concentraciones máximas admisibles y valores, guías en zonas habitables.
6. Gaceta oficial de la República de Cuba edición ordinaria, La Habana, 23 de diciembre de 1999 decreto Ley No. 200.de las contravenciones en materia de medio ambiente.
7. Compañía Especializada en Soluciones Integrales Geográficas y Medio Ambientales (CESIGMA, S.A.) 2011. Línea Base Ambiental a la mina Oro Barita en Santiago de Cuba.
8. Gaceta oficial de la República de Cuba edición extraordinaria, La Habana, 11 de julio de 1997 Ley N°81 "del medio ambiente.
9. DE LAS CUEVAS T. Juan y LORET DE MOLA, R. Florinda. (2006). El Santiago que no conocimos (Libro digital). La Habana.

10. KUZAVKOV, GUENADI. (1987). Informe del Levantamiento Geológico de la Región “Gran Piedra” a Escala 1:50 000.
11. Norma cubana NC 93 – 02 – 203 “Atmósfera. Requisitos higiénico sanitarios: concentración máxima admisible, alturas mínimas de expulsión y zona de protección sanitaria”