

Impacto ambiental en las redes eléctricas próximas al litoral manabita

Impact environmental in the electric next nets to the coast manabita

Washington C. Castillo Jurado¹, María Rodríguez Gámez¹, Olga S. Suárez², Antonio Vázquez Pérez¹

¹Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

²Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Correo electrónico: washington.castillo@utm.edu.ec

Este documento posee una licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional 

Recibido: 13 de febrero de 2018 Aprobado: 5 de julio de 2018

Resumen

La zona costera manabita y sus inmediaciones, es una de las regiones más bellas de la provincia, con un extraordinario atractivo turístico que aún no ha sido explotado en toda su dimensión. En esta se encuentran ubicadas playas como el Murciélago, Crucita, San Jacinto entre otras, que durante todo el año son frecuentadas por turistas nacionales e internacionales, que llegan buscando tranquilidad y esparcimiento. En el trabajo se analiza la influencia del proceso industrial del café, del pescado y de la producción de aceite, que representan un peso importante en la generación de gran cantidad de contaminantes del aire, que combinado con los efectos del aerosol marino, las emisiones de polvo arcilloso producido por las canteras radicadas en la zona, que bajo los efectos del viento provocan una deposición de capas contaminantes en los elementos que componen la infraestructura eléctrica, provocando una alta contaminación de las redes y los aislamientos, propiciando que durante la temporada de lluvias, los dieléctricos se comporten como conductores, trayendo como consecuencia que se produzcan afectaciones del servicio en el territorio, principalmente durante el invierno. Se realiza una breve evaluación sobre las consecuencias derivadas de la contaminación ambiental sobre el sistema de líneas, redes y aisladores eléctricos y lo que puede representar para el proyecto propuesto por el estado para introducir el programa eficiente de cocción (PEC).

Palabras claves: redes eléctricas, transmisión y distribución, subestación, mantenimiento, impacto ambiental

Abstract

The coastal area manabita and their suburbs, it is one of the most beautiful regions in the county, with a tourist extraordinary attractiveness that has not still been exploited in all their dimension. In her beaches like the Bat are located, Crucita, San Hyacinth among other that are frequented by national and international tourists that arrive looking for tranquility during the whole year. In the work the influence of

the industrial process of the coffee is analyzed, of the fish and of the production of oil that you/they represent an important weight in the generation of great quantity of pollutants of the air that combined with the effects of the marine aerosol, the emissions of loamy powder taken place by the quarries resided in the area that I lower the effects of the wind provoke a deposition of layers pollutants in the elements that compose the electric infrastructure, provoking a high contamination of the nets and the isolations, propitiating that during the season of rains, the elements behaves as drivers, resulting in that affectations of the service take place in the territory, mainly during the winter. This is carried out a brief evaluation on the derived consequences of the environmental contamination on the system of lines, nets and electric insulators and what can represent for the project proposed by the state to introduce the efficient program of cooking (PEC).

Key words: electric nets, transmission and distribution, substation, maintenance, environmental impact

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios del descubrimiento de la electricidad y su implantación, las líneas eléctricas han estado sometidas a diferentes efectos contaminantes, siendo tan variadas las formas de contaminación, como tan amplias puede resultar el campo de los impactos ambientales derivados de las actividades vinculadas con el desarrollo.

La historia del planeta Tierra es la historia de la contaminación ambiental. Siempre han existido impactos que se vinculan con la contaminación de las condiciones ambientales. Las erupciones volcánicas, las tormentas de polvo, los grandes incendios forestales y pastizales provocados por fenómenos naturales, figuran entre las principales causas que presentan una influencia importante en la generación de contaminantes atmosféricos.

Los ecosistemas surgen en la naturaleza con un determinado equilibrio energético. Si se rompe o altera ese equilibrio, las condiciones de mantenimiento del ecosistema se modifican. Al sobrepasar el límite superior o inferior de balance de energía que permite la resiliencia* , este degenera y corre el peligro de desaparecer si la homeostasia** del sistema no le permite restaurar las condiciones de equilibrio.

Pero la contaminación del aire comenzó a incrementarse por encima de los parámetros naturales, a partir de la Revolución Industrial y especialmente después de la segunda transición energética, cuando el petróleo se convirtió en la principal fuente primaria de energía [1].

La mayor fuente de aerosoles debida a la actividad humana es la quema de combustibles en motores térmicos para el transporte y en centrales termoeléctricas para la generación de energía eléctrica, además del polvo generado en las obras de construcción y otras zonas de tierra donde el agua o la vegetación ha sido removidas.

Se ha podido comprobar que la contaminación ocasionada por las emisiones de gases contaminantes, de metales pesados en suspensión resultantes de la combustión de hidrocarburos, tanto de las plantas de generación eléctrica y las industrias como de los automóviles y hogares, constituye una de las causas principales de enfermedades de las vías respiratorias, la piel y diversos tipos de cáncer.

El otro efecto de las emisiones de contaminantes a la atmósfera producto de la combustión, es el de las precipitaciones ácidas en forma de lluvia o neblina. Más de 80 % del dióxido de azufre, 50 % de los óxidos de nitrógeno, y de 30 a 40 % de las partículas en suspensión emitidos a la atmósfera proceden de las centrales eléctricas que queman combustibles fósiles, las calderas industriales y las calefacciones. Estos contaminantes son transportados por el viento y las nubes, y producen efectos adversos en áreas muy distantes del lugar de la emisión en forma de depósito o de lluvias ácidas [1].

* La resiliencia refiere la capacidad de los ecosistemas de absorber perturbaciones sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha cesado.

** La homeostasis es una propiedad de los organismos vivos, que consiste en su capacidad de mantener una condición interna estable, compensando los cambios en su entorno mediante el intercambio regulado de materia y energía con el exterior (metabolismo).

Los efectos negativos de la lluvia ácida se han podido apreciar sobre materiales de construcción, edificios, equipos industriales, monumentos y joyas arquitectónicas de la antigüedad.

Las redes eléctricas y los aisladores instalados en el modo aéreo, son elementos técnicos que presentan una alta exposición a los efectos de la contaminación ambiental, que puede incrementarse en la medida que se encuentren más próximos a los focos de contaminación.

La contaminación ambiental es algo que no tiene fronteras, capaz de afectar no solo a los que la emiten, sino que puede afectar grandes zonas alejadas del foco de contaminación. Resulta un efecto que puede ser transportado por el viento en forma de neblina o aerosoles, a cualquier sitio por muy cerrado, oculto y alejado que se encuentre, potencialmente se propaga contaminando y afectando a cuantos elementos del medio encuentre por delante.

La mayoría de los ciudadanos perciben el carácter global del problema de la contaminación; por eso es uno de los principales problemas del planeta [2].

Actualmente, grupos de países se unen para realizar programas de mitigación de impactos ambientales, debido a que los residuos que se producen se dispersan de un sitio a otro, ya sea por el aire o por las aguas, manto freático, etc. [3].

Algunas industrias no depuran sus residuales, provocando con ello diferentes afecciones en su entorno, incumpliendo con las normas internacionales.

La extracción de materiales de construcción en las canteras que se encuentra entre el Cantón Portoviejo y Manta se le asocia con emisiones, especialmente de material particulado [4].

La empresa eléctrica CNEL de la provincia de Manabí, tiene declarado su sistema de gestión ambiental [5] para las redes eléctricas, contando con el diagnóstico de las afectaciones que pueden generar en su entorno, y la magnitud e importancia de los impactos generados, así como la propuesta para el plan de manejo ambiental que permita prevenir y solucionar los inconvenientes encontrados.

El problema que se aborda en el trabajo está relacionado fundamentalmente con la contaminación que provocaban las industrias que se encuentran en el entorno de los cantones Manta y Montecristi, así como las consecuencias económicas que se derivan de estas afectaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras de las deposiciones de residuales en los elementos de la infraestructura de las subestaciones y de los aisladores ubicados en ese territorio.

Se pudo comprobar el efecto contaminante del aire, provocado por las emisiones polvorrientas derivadas de la explotación de las canteras para la construcción, así como las emisiones gaseosas de la planta de tostado de café y a pesar de que no se observa en el ambiente las emisiones de las demás industrias, en la infraestructura de las líneas se pueden observar las huellas de la contaminación vinculadas al resto de la actividad industrial de la zona.

Los procedimientos realizados han sido la recolección de muestras a diferentes distancias de los principales focos de contaminación, así como desde el litoral, que permitió evaluar la influencia del aerosol marino combinado con las emisiones de las industrias, para ello se utilizó el sistema de información geográfica (SIG), que permitió realizar los estudios de dispersión y la distancia de la red.

RESULTADOS

El planeamiento eléctrico tiene como objetivo garantizar el servicio eléctrico en el corto, mediano y largo plazo, enfocado en satisfacer la demanda de las presentes y futuras generaciones. Dentro de las principales metas del sector eléctrico ecuatoriano sobresalen [6], duplicar la capacidad de generación en base al aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, lograr que la generación térmica sea eficiente, realizar la apertura de una dinámica de uso racional y eficiente de la energía, en todos los segmentos de consumo, sin afectar el confort y la calidad de vida de los usuarios, introducir las cocinas de inducción y asumir con responsabilidad las afecciones ambientales. En su organización un elemento fundamental es la reducción de los costos y la seguridad del abastecimiento de electricidad a los usuarios.

El sistema eléctrico manabita se caracteriza por un déficit de generación, contando con una central eléctrica térmica con una potencia nominal de 40,40 MW y una potencia efectiva de 32 MW, que representa el 15 % de la demanda de la provincia que aproximadamente es de 206 MW, el resto de la demanda se suministra desde una generación base de centrales hidroeléctricas que se encuentran entre 120 y 400 km de distancia de los principales

centros de carga de la provincia, implicando grandes pérdidas y un costo elevado para mantener la calidad técnica del servicio.

Las condiciones de las que se sirve una buena parte del servicio eléctrico en la provincia de Manabí, implica que por cada kilowatt hora (kWh) de electricidad consumido, tengan que generarse entre 2, 3 y más kilowatt hora en centrales hidroeléctricas que se encuentran distantes de los centros de consumo.

En la estructura de redes existen 40 líneas de subtransmisión con 721,91 km, 76 redes de medio voltaje con 7.949,81 km y 215.300 líneas de bajo voltaje con 13.729,59 km, 24 subestaciones de distribución con una potencia de 257 MVA y 17.576 transformadores de distribución con una potencia de 468,98 MVA.

Es una región con un por ciento elevado en su iluminación, existiendo un total 91.242 luminarias que acumulan una potencia de 21.372,47 kW, para un promedio de 234 W de potencia por luminaria, 212.546 medidores y un total de 212.532 usuarios controlados.

La provincia de Manabí se encuentra ubicada en una porción de la zona de desarrollo No. 4, que comprende el territorio del litoral o costa, que cubre el 25 % del territorio nacional. Cuenta con una población de 1.395.249 habitantes, con una tasa anual de crecimiento del 1.65 %. La edad media de la población es de 28.2 años.

En el relieve de la provincia predominan las extensas llanuras del litoral que se extienden por 350 km de costas bañadas por el océano Pacífico, con algunas elevaciones tierra adentro que no sobrepasan los 800 m sobre el nivel del mar. En el cantón Montecristi existen cordones aislados de los cerros de este nombre y los cerros de Hojas. Hacia el norte se dirige la Cordillera de Balzar, que comprende los cerros de Los Liberales y de Canoa; de allí sigue un ramal que se une con los cerros de Jama y se continúan hacia el norte con los cerros de Coaque.

El clima oscila entre tropical seco a tropical húmedo y está determinado por las corrientes marinas; durante el invierno que se inicia a principios de diciembre y concluye en mayo, el clima es caluroso y está influenciado por la corriente cálida del El Niño. Por el contrario, el verano que va de junio a diciembre es menos caluroso, gracias a la corriente fría de Humboldt, aunque la temperatura no es uniforme en toda la provincia, la media en Portoviejo la capital, es de 25 °C y en la ciudad de Manta, de 23,8 °C.

Posee la tercera área metropolitana más poblada del país. La Conurbación Manabí Centro, que resulta la región metropolitana más poblada de la provincia y la tercera en ranking nacional con 686.140 habitantes. Portoviejo es considerada la cabecera de esta conurbación y Manta el puerto principal de la red urbana. Los 4 cantones que están dentro de esta conurbación, son considerados suburbanos de Portoviejo y Manta. Se dice que con más de 685.000 habitantes, casi la mitad de la población manabita reside dentro de esta conurbación.

En la carretera Portoviejo a Manta se destacan varias industrias de procesamiento de alimentos, especialmente relacionadas con productos como la industrialización del café, pescado y aceites. Estas industrias están constantemente emitiendo gases contaminantes.

Entre las industrias que presentan un mayor nivel de incidencia en cuanto a las emisiones contaminantes, entre ellas una molinera de café, una empresa elaboradora de harina de trigo, una industria procesadora de aceite vegetal [6], estas instalaciones se encuentran en expansión aumentando sus niveles de producción, empleos; pero también se están aumentando los niveles de las emisiones contaminantes atmosféricas que afectan a los elementos de la infraestructura eléctrica de la zona.

En ese territorio se producen dos fenómenos: expansión de la industria, provocando la necesidad de mayor uso de energía y por ende el aumento de las emisiones que provienen de las actividades económico-sociales [1], como es el monóxido de carbono (CO), derivado del escape de los motores, dióxido de azufre (SO₂), originado en las instalaciones generadoras de calor y electricidad que utilizan petróleo o carbón, con contenido sulfuroso, plantas de ácido sulfúrico, partículas en suspensión, derivadas del escape de vehículos de motor, procesos industriales, incineración de residuales, generación de calor y electricidad, y reacción de gases contaminantes en la atmósfera, plomo (Pb), proveniente de gases de escape de vehículos de motor, fundiciones de plomo y de la fábricas de baterías, óxidos de nitrógeno (NO, NO₂, dióxido de carbono (CO₂).

Se encuentran canteras con terrenos polvorientos, el aire suele estar impregnado de un polvillo muy fino casi imperceptible, que de manera permanente enrarece la atmósfera, con potencialidad de combinarse con el resto de los gases y complicar el nivel de la contaminación ambiental, todo ello mezclado con el aerosol marino que combinados con la acción del viento, se convierte en un coloide de micropartículas principalmente líquidas suspendidas en el aire con un tamaño que puede ser desde 0,002 μm a más de 100 μm, que vienen cargadas con un fuerte componente de cloruro sódico, sales de magnesio, calcio, potasio y sulfatos, muy nocivas para las

estructuras metálicas por su alto nivel corrosivo. Además, los aerosoles de origen marino pueden contener compuestos orgánicos.

Estas mezclas de todos los elementos descritos anteriormente provocan que el aire esté contaminado influyendo en la confiabilidad de la red eléctrica. El aerosol marino se dispersa en forma de neblina a diferentes distancias, depositándose en los distintos elementos que conforman el ambiente, entre los que se encuentran los conductores y aisladores del sistema de transmisión y distribución de la electricidad y se convierte en pequeñas gotas de agua con un alto nivel de salinidad. En las horas del día el agua se evapora como consecuencia del calentamiento solar y queda la sal incrustada en los elementos de la infraestructura eléctrica, con posibilidad de afectar la propiedad dieléctrica de los aisladores, que en combinación con las lluvias pueden provocar afecciones técnicas en la red eléctrica y con ello interrupciones y la disminución de la calidad y eficacia del servicio a los usuarios.

En la figura 1, se muestran imágenes de las emisiones gaseosas que se pueden observar diariamente en la industria del café ubicada en las inmediaciones de Montecristi, en la carretera a Manta.



Fig. 1. Emisiones de la industria del café

El humo es dispersado por el viento, ocurriendo que el desprendimiento de sustancias oleosas contaminantes se impregne en la infraestructura eléctrica, especialmente en los aisladores, que combinado con el aerosol marino y el polvo proveniente de las canteras de la construcción y de las propias condiciones del terreno, vayan creando una costra en los elementos de las redes.

Emisiones contaminantes procedentes de otras industrias

Dentro de las otras industrias se encuentra la molinera de Manta, las fábricas de conservación del atún, la Bilbosa que industrializa el aceite de palma africana, y todas ellas contaminando el aire a la vez, hacen que los niveles de emisiones aumenten, pero con componentes químicos diferentes, creando mayores problemas de contaminación en la infraestructura eléctrica.

En el periodo de construcción y montaje de la subestación Montecristi II, se tomaron algunas muestras de las deposiciones de las ya mencionadas emisiones contaminantes. En la figura 2 se muestra una imagen de los ventiladores de los transformadores, donde se observan los niveles de contaminación. En este caso la mayoría de las deposiciones de contaminantes provienen de las canteras que se encuentran próximas a las subestaciones en estudio, o sea, que preventivamente se deben hacer mantenimientos antes de arrancar la subestación, pues no son solo los aisladores los que pueden resultar afectados por la contaminación.



Fig. 2. Deposición del polvo de las canteras en los ventiladores de la subestación

Como se puede observar, incluso antes de entrar en explotación la subestación, ya necesita una limpieza de mantenimiento, pues existen capas de agentes contaminantes que se han depositado en los equipos y que requieren ser retirados por los operarios antes de ponerlos en funcionamiento.

Para la llegada del invierno, tras los meses de verano donde casi no llueve, los aisladores y demás componentes de la infraestructura de las redes de transmisión y distribución, han acumulado suficiente contaminación y la situación puede agravarse con las primeras lluvias y cuando estas aparecen la deposición de diferentes componentes ya se ha convertido en una capa muy robusta, que en la época de invierno hace que las partículas de agua en el aislador rueden por encima de esa capa, trastocando la propiedad dieléctrica de los aisladores convirtiéndose en conductores, lo cual implica fallas técnicas con potencialidad de provocar interrupciones en el servicio eléctrico, con sus consecuentes pérdidas económicas, no solo para la empresa eléctrica, sino también para los usuarios.

En la figura 3, se pueden observar aisladores deteriorados a consecuencia de la contaminación.



Fig. 3. Muestra de los aisladores deteriorados por la contaminación

Las consecuencias de la contaminación inciden en que las acciones de mantenimiento de la infraestructura eléctrica sean de mayor periodicidad, implicando exceso de gastos de recursos por parte de la empresa eléctrica local de la provincia de Manabí. En la figura 4 se observan diferentes imágenes de los mantenedores de las líneas eléctricas en plena faena, pudiendo apreciar la complejidad de la tarea, que implica altos riesgos para los trabajadores que realizan las faenas de limpieza y mantenimiento



Fig. 4. Operarios eléctricos limpiando y dando mantenimiento a las redes

Estas imágenes son frecuentes observar los fines de semana (sábados y domingos) de 6 a 9 de la mañana, en cualquier zona del territorio manabita, fundamentalmente en el tramo de la carretera Montecristi vía a Manta que resulta uno de los sitios más afectados.

Hasta el momento se han logrado identificar un grupo de subestaciones, que presentan las mayores afectaciones derivadas de las emanaciones provenientes de los focos contaminantes.

En la tabla 1 se reflejan las subestaciones que registran las mayores afectaciones en cuanto a la contaminación ambiental.

Tabla 1. Subestaciones afectadas por emisiones contaminantes

No.	Dirección	Subestación
1	Vía Rocafuerte	Manta 2
2	Barrio San Pedro / Manta	Manta 3
3	Barrio Miraflores / Manta	Manta 1
4	Frente a El Café	Montecristi
5	Vía San Juan de Manta	Manta 4
6	Redondel el Colorado	Montecristi 2

Cuando se analiza el contenido de la tabla 1 se puede verificar, que las subestaciones registradas como las más afectadas, coinciden con zonas de alta industrialización, por lo que es posible suponer que las interrupciones del servicio para realizar los mantenimientos, pueden afectar el cumplimiento de los planes de producción de dichas industrias, con un resultado económico concreto, a lo que debe agregarse el costo de los mantenimientos propiamente dichos al sistema de las redes eléctricas por parte de la empresa eléctrica.

En la figura 5 se muestra el mapa de relieve de la provincia de Manabí y los elementos más importantes de la infraestructura eléctrica afectados en un perímetro de 15 km.

Anteriormente ya se había comentado la incidencia que resulta de la contaminación ambiental sobre los aisladores, lo que implica que en las zonas con mayor afectación, se requieran realizar análisis bien detallados sobre el tipo de contaminación y los tipos de aisladores que deben emplearse en cada caso.

Principalmente las nuevas inversiones deben exigir una evaluación ambiental puntual de los sitios que serán intervenidos con la tecnología y como consecuencia prever las acciones correctivas o de mitigación de impactos que se requieran, lo que va a permitir un menor nivel de afectaciones derivadas de la influencia ambiental, suponiendo la reducción de las pérdidas económicas por ese concepto.



Fig. 5. Elementos afectados en un perímetro de 15 km

En otras investigaciones realizadas referentes a la temática, se ha podido verificar que existen tres tipos de contaminación fundamentales que afectan los elementos de la infraestructura técnica del sistema de redes eléctricas; la marina, la industrial y la desértica [7].

Las investigaciones y evaluaciones realizadas permitieron comprobar, que en la zona del estudio se dan la mano los tres tipos de contaminación referidos, demostrando el alto nivel de complejidad que implica la búsqueda de una posible solución encaminada a reducir las consecuencias vinculadas con los efectos ambientales que se presentan.

En la tabla 2, se muestran los elementos contaminantes encontrados en muestras recolectadas frente a la zona costera. El estudio se realizó en el laboratorio de la escuela de Ingeniería Química, para lo cual se analizaron 7 aisladores de suspensión contaminados de 10'', las pruebas solo fueron cualitativas, con la finalidad de conocer los tipos de contaminantes que se presentan en las muestras y los pasos para realizar el estudio.

Tabla 2. Elementos contaminantes encontrados en las muestras

Determinación de calcio (g)	Determinación de Magnesio (g)	Determinación de cloruros (Na)	Determinación de potasio (kg)
0,23	0,17	0,041	0,071

Como muestran los resultados preliminares aparecen componentes como el calcio, magnesio, cloruro de sodio y potasio, corroborando con ello que se impregnan en los aisladores y la necesidad de buscar soluciones técnicas para disminuir la deposición de estos componentes químicos.

CONCLUSIONES

Mediante la realización de un proyecto de investigación preliminar, se pudo definir la situación inicial que presentan los elementos de la infraestructura técnica del sistema de redes eléctricas de la provincia de Manabí, en relación con los efectos de la contaminación ambiental derivada de la actividad industrial y su combinación con los componentes climáticos y el aerosol marino, definiéndose las zonas más afectadas por este fenómeno.

REFERENCIAS

1. Altshuler J, et al. Tabloide de energía. Suplemento especial. Editorial Academia, Cuba, 2004.
2. Gil Pérez D, et al. Década de la Educación para un futuro sostenible (2005-2014). Un punto de inflexión necesario en la atención a la situación del planeta. Revista Iberoamericana de Educación. 40:125-178, 2006.
3. Lendo Fuentes E, et al. Programa Frontera 2012. Programa Ambiental México-Estados Unidos. <http://www.epa.gov/> (Consultado enero 2015). 2012.
4. Medioambiente. Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro. Repositorio del Ministerio de Medio Ambiente Ecuador. 2014. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content> (Consultado enero 2015).
5. Declaración de impacto ambiental de las líneas de subtransmisión Manta 2 – Jaramijó y subestación Jaramijó provincia de Manabí. www.CNEL.gob.ec (Consultado enero 2015). 2014.
6. CONELEC. Atlas del sistema eléctrico del Ecuador. Publicación anual del MEER, CONELEC y TERRASOE, 2009.
7. Castro M. Mapas de niveles de contaminación del aislamiento de la República de Cuba. Informe de investigación del programa Energético (PR-585). La Habana, Cuba: Cipel, Cujae, 1989.
8. Martínez Darlington E. Texto: Contaminación de aisladores de líneas aéreas de alta tensión. Editorial Académica Española, ISBN 978-3-659-07298-7.
9. Aponte G, Castro M. Evaluación de los niveles de contaminación en la costa norte colombiana. IEEE PES Transmission and Distribution Conference, Caracas Venezuela, agosto, 2006.
10. Aponte G, Castro JC, Sánchez VH, Castro M, Espinosa A, Rosales N. Contamination Level Evaluation on Colombian North Cost. IEEE Latin America Transactions. 7(2), June, 2009. Disponible en: http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol07/vol7issue2June2009/7TLA2_09Aponte.pdf. (Consultado enero 2015).