

## **Contribución a la gestión ambiental de suelos contaminados por Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en las provincias Mayabeque y La Habana**

### **Contribution to the environmental management of soils contaminated by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the provinces Mayabeque and Havana**

Yanet López Dorta<sup>1</sup>, Heriberto Vargas Rodríguez<sup>2</sup>, Dayana Sosa Pacheco<sup>1</sup> y Arturo Escobar Medina<sup>1</sup>

1. Dirección de Salud Animal. Centro Nacional Sanidad Agropecuaria.

Autopista Nacional Km 23½ y Carretera de Tapaste. San José de las Lajas. Mayabeque. Correo-e: [escobar@censa.edu.cu](mailto:escobar@censa.edu.cu)

2. Facultad de Agronomía. Universidad Agraria de La Habana.

Autopista Nacional Km 23½ y Carretera de Tapaste. San José de las Lajas. Mayabeque.

#### **RESUMEN**

La sostenibilidad en el uso de los suelos constituye hoy una de las principales preocupaciones de muchos gobiernos y países. Las provincias de Mayabeque y La Habana se caracterizan por desarrollar actividades agropecuarias e industriales, las cuales pueden constituir una fuente de emisión de contaminantes orgánicos persistentes y representar un peligro inminente por la contaminación de los suelos que estos provocan. Ello implica un posible riesgo para el ecosistema y para la salud humana. Este trabajo tuvo como objetivo establecer un conjunto de acciones estratégicas para enfrentar la problemática de la contaminación por Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en suelos con diversos usos en las provincias Mayabeque y La Habana. Como método fundamental se utilizó la investigación acción participativa, sustentado en el paradigma de desarrollo constructivista con enfoque mixto. Se empleó la cromatografía gaseosa acoplada a masa para la determinación de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. Las concentraciones encontradas en los cuatro municipios seleccionados de Mayabeque fueron menores de 200  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , por lo cual se consideraron no contaminados. En La Habana, el 8% del total de muestras de suelos requiere de una intervención directa para su remediación, con énfasis en los suelos de parques urbanos. El 43% de estos presentó valores entre 10-72  $\text{mg kg}^{-1}$ . Se promovieron acciones de carácter participativo, contextual e interdisciplinario con el propósito de sensibilizar a los decisores y partes interesadas. Estas contribuyeron al desarrollo de la gestión ambiental en el enfrentamiento de suelos contaminados por Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

#### **ABSTRACT**

Sustainability in the use of soils is one of the main concerns of governments and countries to maintain their operation in a harmonious way over time and space, that aspect has been compromised by the presence of environmental pollutants. Mayabeque and Havana are characterized by agricultural and industrial activities. These can constitute a source of emission of persistent organic pollutants, and represent an imminent danger in the contamination of the soils. This implies a potential risk to the ecosystem and human health. The objective of this work was to establish a set of strategic actions to face the problem of pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in soils with different uses in the provinces of Mayabeque and Havana. As a fundamental method, participatory action research was used, based on the paradigm of constructivist development with a mixed approach. Mass-coupled gas chromatography was used

for the determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. The concentrations found were less than  $200 \mu\text{g kg}^{-1}$  in the four municipalities selected from Mayabeque, considered uncontaminated. In Havana, 8% of all soil samples require direct intervention for their remediation; with emphasis on the urban parks soils, where 43% presented values between  $10\text{-}72 \text{ mg kg}^{-1}$ . Actions were promoted to sensitize decision-makers and stakeholders. These were of participative, contextual and interdisciplinary character, which contributed to the development of the environmental management in the confrontation of soils contaminated by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.

**PALABRAS CLAVES:** HAPs, gestión ambiental, suelos, Mayabeque, La Habana

**KEY WORDS:** PAHs, environmental management, soils, Mayabeque, Havana

## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental constituye uno de los problemas más críticos que enfrenta el mundo pues afecta a los ecosistemas terrestres y acuáticos. El suelo se encuentra sometido a una creciente presión medioambiental provocada o exacerbada por la actividad humana: prácticas agrícolas o forestales inadecuadas, actividades industriales, el turismo y la urbanización (Vilches y col., 2014; García y col., 2014). Estas actividades dañan su capacidad para prestar plenamente una amplia gama de funciones vitales. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ha informado que existe un 40 % de suelos degradados a nivel global. La erosión constituye un factor importante provocada por el laboreo y la presencia de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) (FAO, 2015). Por tal motivo, la investigación de estos compuestos químicos y cómo se originan son prioridades a resolver por la ciencia moderna (Domínguez y col., 2011).

En Cuba, la protección del medio ambiente posee prioridad constitucional. Esto queda reflejado en el artículo 27 de la Constitución de la República (RC, 2002). También existe una Estrategia Ambiental Nacional (EAN) que atiende la contaminación ambiental en los diferentes ecosistemas, pero no considera todos los contaminantes que pueden afectar la sostenibilidad de un sistema (CITMA, 2007).

Entre los contaminantes ambientales se hallan los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) provenientes de diferentes procesos naturales y actividades antropogénicas (Tobiszewski y col., 2012; Lawrence, 2015). De estos, 16 compuestos son los más estudiados por su toxicidad y persistencia (EFSA, 2008).

La presencia de contaminantes orgánicos persistentes en la atmósfera ha sido informada en los cinco continentes (Bogdal y col., 2013). En 2004 se estimó una concentración de 520 giga gramos por año de los 16 HAPs (Zhang y Tao, 2009). Un estudio realizado en Europa informó la presencia de la suma de 12 HAPs en un intervalo entre  $500\text{-}61200 \text{ pg m}^{-3}$  (Jaward y col., 2004). Una vez liberados al medio ambiente estos contaminantes pueden ser transportados a grandes distancias y depositarse en el suelo. Esta matriz natural constituye el mayor reservorio de contaminantes orgánicos que se depositan atmosféricamente. Evidencia de ello son los resultados de HAPs en suelo y sedimento que se han reportado con sistematicidad a nivel global (Wilcke y col., 2007; Wang y col., 2010; Oluwatoyin y col., 2014). En la actualidad, no existe una

regulación armonizada de estos contaminantes en suelo, por lo que algunos países establecen sus propias recomendaciones al respecto (Maliszewska-Kordybach, 1996; Jenning, 2012).

En el caso de Cuba, existen estudios puntuales del comportamiento y la dinámica de los hidrocarburos en el aire, el sedimento y el agua. Se reportó la presencia de los HAPs en particulados atmosféricos provenientes de dos fuentes contaminantes: la refinería de Santiago de Cuba y la de Mayabeque, donde las concentraciones promedios fueron de 0.044 y 0.028 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) respectivamente (Cora y col., 2011).

Análisis realizados en la bahía de Cienfuegos revelaron que las concentraciones de los hidrocarburos petrogénicos oscilaron en el rango de 60 a 700  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco (ps). El de los HAPs fue de 0.5 a 10.5  $\mu\text{g g}^{-1}$  ps (Tolosa y col., 2009). También fueron examinados los sedimentos de la costa noreste de La Habana, siendo la concentración de los hidrocarburos alifáticos de 5 a 226  $\mu\text{g g}^{-1}$  ps (Companioni –Damas y col., 2011).

Como ya ha sido dicho, la provincia Mayabeque es una zona en la que se desarrollan actividades industriales y agrícolas. La Habana es una provincia fundamentalmente industrial que muestra un incremento sostenido del transporte público y privado. La presencia de industrias y las actividades antropogénicas que tienen lugar en ambas provincias contribuyen a la emisión de los contaminantes ambientales (HAPs). Todo ello, unido al desconocimiento de la situación actual de estos en el suelo, no permite realizar una adecuada gestión ambiental y, al mismo tiempo, constituye una debilidad de la EAN que no logra aún garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales.

El objetivo del presente estudio fue diseñar un conjunto de acciones estratégicas que coadyuven a la prevención o mitigación de la contaminación por HAPs en suelos con diversos usos en las provincias Mayabeque y La Habana. Tales acciones contribuirán al logro de un desarrollo humano y ambiental sostenible.

## **METODOLOGÍA**

Se realizó un estudio de acción participativa y retrospectivo que contó con el apoyo del proyecto internacional: IZ01Z0\_147314 denominado: Establecimiento de una red de monitoreo en suelo para evaluar la exposición ambiental a los HAPs y los bifenilos policlorados en la provincia de Mayabeque, Cuba (Soil-Q). Dicho estudio estuvo financiado por la Fundación Nacional de Ciencia de Suiza (SNSF) y se organizó en tres etapas. En la primera, se emplearon como métodos las entrevistas grupales e individuales, el análisis documental y la observación participante para identificar las necesidades cognitivas e intereses de los actores sociales (población, campesinos, representantes de entidades reguladoras y de masas) implicados, así como para la selección de las posibles fuentes contaminantes de HAPs y los sitios de muestreo.

Se seleccionaron 59 sitios en ambas provincias, atendiendo a la actividad agroindustrial de estos, así como a la posible susceptibilidad de los suelos a la contaminación por HAPs. De ellos, 39 puntos fueron evaluados y distribuidos en cuatro municipios de Mayabeque (Santa Cruz del Norte, Jaruco, San José de las Lajas y Güines). Los 20 restantes correspondieron a seis municipios de La Habana (Habana Vieja, Regla, Cerro, 10 de octubre, Marianao y Cotorro).

Los suelos predominantes en la provincia Mayabeque se clasificaron como ferralíticos rojos y pardos sialíticos. Estos últimos pertenecientes al subtipo pardo mullido y pardo ócrico

(Hernández y col., 2015). En La Habana se clasificaron como antrosoles. Los suelos de los sitios seleccionados presentaban diferentes tipos de uso (agrícola, ganadería, forestal, parque, industrial).

### **Muestreo y métodos de análisis**

Durante la segunda etapa se procedió según establece el manual de muestreo de suelo (OIS) publicado por la agencia suiza para el medio ambiente (SAEFL, 2003). Para la extracción, purificación y el análisis de HAPs en las muestras se procedió según lo establecido por Bucheli y col. (2004). El origen de los HAPs fue determinado a partir de las relaciones diagnósticas de ANT/ (ANT&PHE)) y IPY/ (IPY&BPE) vs. FLT/ (FLT&PYR). Las siglas ANT corresponden a antraceno, FEN a fenantreno, IPY a indeno (1,2,3 cd) pireno, BPE a benzo (ghi) perileno (Bucheli y col., 2004).

### **Comunicación y plan de acción**

En la tercera etapa se desarrollaron talleres investigativos y entrevistas grupales con todos los participantes en el estudio. A partir de los resultados de ambos se aplicó la metodología DAFO que contribuyó, desde un enfoque contextual y transdisciplinario, a establecer las acciones orientadas a mitigar la contaminación por HAPs en el área de estudio. En la tabla 1 se muestran las tareas que contribuyeron a la gestión ambiental para enfrentar la contaminación por HAPs en suelos.

Tabla 1. Actividades, actores y medios de verificación de las estrategias de comunicación y planificación.

Actividades	Actores Sociales	Medios de verificación
Talleres de Capacitación	Ministerios: CITMA, MES, Agricultura, FAR. Instituciones: CENSA; INCA, UNAH, CNSQ, CEINPET y UNE Organizaciones No Gubernamentales: ANAP	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Taller de Inicio/Intermedio y Final de proyecto internacional</li> <li>✓ Taller sobre remediación</li> <li>✓ Fotos</li> </ul>
Divulgación de resultados	Comunidad científica Población	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Prensa escrita</li> <li>✓ Programas televisivos</li> <li>✓ Eventos internacionales y nacionales</li> </ul>
Talleres de capacitación y construcción de conocimiento	CENSA/CITMA de Mayabeque y Delegación de CITMA en La Habana. Instituciones: CEINPET y Suelo. Refinería Níco López	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Reportes de resultados</li> <li>✓ Convenios de colaboración</li> <li>✓ Matriz DAFO</li> <li>✓ Fotos</li> </ul>

### **Análisis estadísticos**

Para el análisis paramétrico descriptivo de las variables objeto de estudio se empleó el paquete de software versión 2010 del Grupo InfoStat, FCA, perteneciente a la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Se empleó el programa ArGis (versión 9.3.1) como herramienta de georeferenciación de la contaminación de HAPs en los sitios elegidos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La protección del medio ambiente y los recursos naturales constituye un interés nacional. Así se expresa en el artículo 27 de la Constitución de la República de Cuba (RC, 2002) y en la Ley 81 Del Medio Ambiente (GO, 1997). El que Cuba sea firmante de diversos convenios

internacionales relacionados con el tema (UNEI, 2015) reafirma su posición al respecto. En correspondencia con lo anterior, en el año 2007, el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) desarrolló un proceso de adecuación y actualización de la EAN (CITMA, 2007). Se identificó la contaminación como problema ambiental prioritario así como las debilidades que no permitían la disminución de las causas que la originaban. Esto condujo al despliegue de un Programa Nacional de Lucha contra la Contaminación del Medio Ambiente (PN-LCMA) (CITMA, 2009) con el propósito de dar respuesta a las necesidades planteadas, potenciar las posibilidades de los instrumentos de gestión ambiental en vigor y establecer, de manera progresiva, prioridades durante el presente ciclo estratégico.

Se constató que, en las legislaciones vigentes en Cuba, el tema de los HAPs no se incluye dentro de las emisiones atmosféricas, ni de los contaminantes orgánicos persistentes, aun cuando constituyen una problemática global por las emisiones que se liberan anualmente (Zhang y Tao, 2009) y por las repercusiones de su deposición en los recursos naturales (Kuppusamy y col., 2017; Ma y col., 2017). Solo existe la NC 819/2010, relacionada con la presencia de hidrocarburos totales del petróleo que no contempla los 16 HAPs prioritarios en los estudios medioambientales establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA-US) (Keith, 2015).

El PN-LCMA no excluye dentro de sus acciones que se estudien nuevos contaminantes y refuerza el criterio de la necesidad de un enfoque de manejo integrado de ecosistemas como una opción más racional para manejar los recursos naturales y el ambiente. Su primer objetivo se relaciona con “Generar conocimiento acerca de las fuentes potenciales de contaminantes atmosféricos y sus impactos sobre la salud humana, el medio ambiente y el clima” (CITMA, 2009).

En la tabla 2 se muestran las principales industrias y sus posibles emisiones de contaminantes en los escenarios seleccionados. El 75 % de las inventariadas liberan al ambiente HAPs, sobre todo aquellas en las que se emplea la combustión de diésel. Esto coincide con lo expuesto en otros trabajos que demuestran que constituyen las principales fuentes contaminantes de HAPs (Wong y col., 2009, Teng y col., 2015). Otra fuente no inventariada son las móviles. Estas corresponden a los vehículos automotores como principales emisores de contaminantes. Se destacan aquí los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono, los hidrocarburos no quemados, los dióxidos de azufre y los compuestos orgánicos volátiles. La presente investigación consideró sitios como los parques pues en los alrededores de estos existe una fuerte presencia de vehículos automotores, y también ocurre el tránsito de personas.

Tabla 2. Principales industrias y posibles contaminantes emitidos en las provincias de Mayabeque y La Habana.

<b>Industria</b>	<b>Localización</b>	<b>Principales Contaminantes</b>
Materiales de construcción (cerámica blanca, mezcla asfáltica)	San José de las Lajas, Santa Cruz del Norte, Mayabeque	Metales pesados, dioxinas, asbesto, hidrocarburos aromáticos y alifáticos

Materiales de construcción (refractarios)	Güines, Mayabeque	Metales pesados, dioxinas, hidrocarburos aromáticos y alifáticos
Herrajes y galvanización	Nueva Paz, Mayabeque	Metales pesados, dioxinas
Industria Química (goma y pintura)	San José de las Lajas, Mayabeque	Metales pesados, BPCs, HAPs, hidrocarburos alifáticos
Metalúrgica y electromecánica (aluminio, cables eléctricos y tuberías)	San José de las Lajas, Mayabeque	Metales pesados, BPCs
Confecciones textiles	Güines, Jaruco, Mayabeque	Metales pesados, hidrocarburos aromáticos monocíclicos, pesticidas organoclorados
Extracción petrolera y gasífera	Santa Cruz del Norte, Mayabeque y Regla, La Habana	Hidrocarburos totales, HAPs, metales, cianuros, compuestos de azufre orgánico
Fábrica de ron	Santa Cruz del Norte y San José de las Lajas, Mayabeque	Compuestos orgánicos volátiles, otros
Industria azucarera (centrales)	San Nicolás, Madruga, Mayabeque	HAPs, metales pesados
Planta Talla Piedra	Centro Habana, La Habana	BPCs, HAPs, aceites minerales
Antillana de Acero	Cotorro, La Habana	Hidrocarburos totales, HAPs, metales, floculantes, hidrocarburos clorados volátiles
Grupos electrógenos (CUJAE)	Rancho Boyeros, La Habana	BPCs, HAPs, aceites minerales

En la figura 1, se muestra el porcentaje de respuesta de la población y los campesinos encuestados respecto de la contaminación, en general, saben lo que es. Sin embargo, existe desconocimiento en relación con aspectos específicos de los contaminantes y su implicación en la salud. Por ejemplo, se observó que el 40 % desconoce si la contaminación afecta a los alimentos; el 30 % tiene conocimiento que existe una EAN. El 100 % mencionó que nunca se ha estudiado el suelo donde laboran. Solo el 18.2 % de los encuestados que vive en las zonas urbanas y semiurbanas conoce acerca de los contaminantes orgánicos y sus regulaciones. Lo anterior reafirma el desconocimiento acerca de ellos, así como la necesidad de una divulgación adecuada acerca de la contaminación y los efectos que pueden provocar en diferentes sectores de la población, aun cuando esto se establezca en el PN-LCMA (CITMA, 2009).

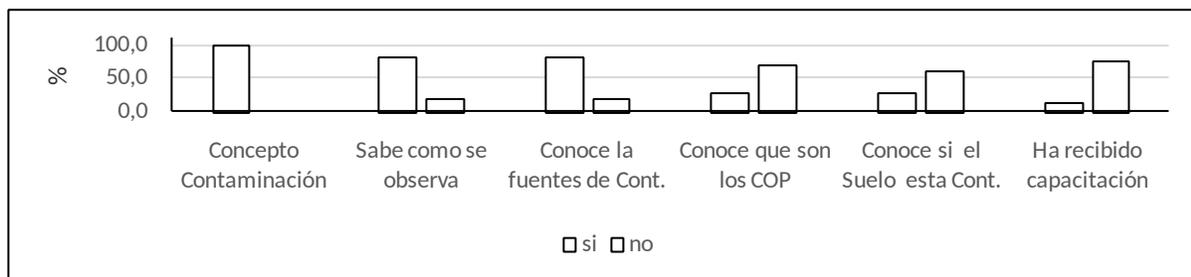


Figura 1. Resultados de las encuestas realizadas acerca de la contaminación.

Los funcionarios que trabajan en organismos reguladores plantearon que la principal dificultad está relacionada con el déficit de infraestructura tecnológica para atender el tema, considerando la

amplia gama de COPs y la falta de regulaciones vigentes y actualizadas para muchos de estos. Sin embargo, Iván Efraín Martínez Bordón, Jefe del Departamento de Medio Ambiente en la provincia Mayabeque refirió que: “A partir de la creación de la provincia se procedió a confeccionar una estrategia, la cual por vez primera tiene como base las cuestiones fundamentales que nos afectan y no es una réplica de la nacional”. Dicha estrategia reveló que la contaminación de las aguas, los suelos y la atmósfera, constituyen importantes problemas a resolver en la provincia (Valdéz, 2015).

### **Análisis de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en suelos de la provincia Mayabeque y La Habana**

Los niveles de contaminación de la sumatoria de los 16 HAPs para ambas provincias oscilaron entre 19 y 71 713  $\mu\text{g kg}^{-1}$  ps. Es importante destacar que en los cuatro municipios de Mayabeque los valores de la media no sobrepasaron los 200  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para la sumatoria de los 16 HAPs,

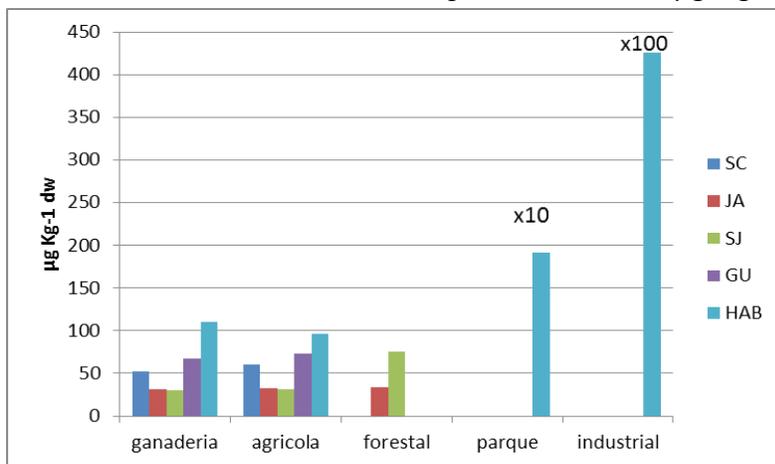


Figura 2. Distribución de valores de mediana de HAPs según el uso de los suelos en los diferentes escenarios. SC: Santa Cruz del Norte, JA: Jaruco, SJ: San José de las Lajas, GU: Güines y HAB: La Habana.

mientras que en La Habana el valor promedio fue de 7841  $\mu\text{g kg}^{-1}$  en un rango de 43-71713  $\mu\text{g kg}^{-1}$ .

La distribución de los HAPs según el uso de los suelos muestreados se aprecia en la figura 2. El área industrial presentó el mayor valor de mediana ya que uno de los muestreos se realizó en un área de remediación industrial en la que se mezclan los residuos de los tanques de almacenamiento de combustible con la tierra en una proporción 1:3 V/V. Le siguen los

parques con un valor de 1 916  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Ambos sitios se encuentran en La Habana. Resultados semejantes han sido reportados por diversos autores (Oluwatoyin y col., 2014; Xiaolong y col., 2015; Hussain y Hoque, 2015; Sarma y col., 2016) en algunas regiones de China, Asia y África, donde se alcanzaron valores muy altos de contaminación. Estos aspectos están relacionados con la actividad antropogénica. En la mayoría de los casos, predominan los compuestos de elevada masa molecular relacionados con la presencia de materia orgánica en el suelo.

Según la clasificación propuesta por Maliszewska y col. (1996) para la contaminación de los suelos por HAPs en los suelos agrícolas, el 3.4 % presentó una concentración de la  $\Sigma 16$  HAPs superior a 200  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (un suelo está débilmente contaminado cuando la concentración de  $\Sigma 16$  HAPs oscila entre 200 a 600  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ). Solo una muestra presentó 2 732  $\mu\text{g kg}^{-1}$  correspondiente a un suelo semiurbano, donde anteriormente existió un basurero. Mientras que, en el área de los parques, el 100 % de las muestras de suelo superaron el valor de 200  $\mu\text{g kg}^{-1}$  y presentaron un rango de concentración en la  $\Sigma 16$  HAPs de 367  $\mu\text{g kg}^{-1}$  a 71 713  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Ello se debe, en principio, a la cercanía de estos a las carreteras con alta movilidad de vehículos automotores (Wang y col., 2013).

Los indicadores de las asociaciones de ANT/ (ANT&PHE)) y IPY/ (IPY&BPE) vs. FLT/ (FLT&PYR) sugirieron que el origen de la contaminación es mixto en la región de Mayabeque (Sosa y col., 2017), mientras que en La Habana predominó la fuente pirogénica, debido fundamentalmente a la combustión de los carros (Bucheli y col., 2004).

Al integrar los resultados se pudo concluir que alertan sobre el nivel de contaminación por HAPs existente en algunos suelos de Mayabeque y La Habana, y coinciden con las áreas de mayor contaminación atmosférica reportadas por Wallo en 2003. Según este autor, los parques pueden constituir el mayor riesgo de exposición para la población.

### **Comunicación y plan de acción**

Como parte de los resultados se logró realizar una divulgación y sensibilización en relación con el tema aludido a nivel provincial, nacional e internacional con la ayuda de la prensa escrita y programas televisivos (TV, 2017). Los resultados de la presencia de HAPs en suelos fueron divulgados en eventos nacionales e internacionales [Seminario Internacional de Sanidad Agropecuaria (SISA) 2015, Sociedad de Medio Ambiente, Toxicología y Química (SETAC) en Nantes-Francia, 2016 y en Orlando-EUA, 2016]. Se realizaron capacitaciones a los actores sociales relacionados con la temática a través de talleres financiados por el proyecto lo que favoreció el intercambio y sugirió la realización de nuevos talleres dedicados a establecer valores orientativos respecto de otros contaminantes.

Asimismo, se facilitó la adecuada gestión en aras de atenuar o prevenir la contaminación por HAPs en suelos urbanos y rurales a partir del análisis DAFO (tabla 3). A partir de los resultados de las encuestas aplicadas, de los del diagnóstico participativo y del contacto continuo con los organismos decisores se consensuó una propuesta de acciones estratégicas dinámicas con carácter prospectivo e interdisciplinario.

Se observó que la búsqueda de nuevos proyectos que fortalezcan la infraestructura tecnológica, junto con las acreditaciones de los procedimientos y la capacitación de todos los actores son las premisas fundamentales que contribuyen a la gestión ambiental de los suelos contaminados por HAPs. Todo lo anterior reafirma las acciones establecidas en el Plan de Aplicación Nacional para la Gestión de COPs (CITMA, 2008).

Tabla 3. Debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades identificadas por los actores sociales a partir de la información obtenida de las encuestas, talleres y entrevistas con los organismos reguladores.

Fortalezas	Debilidades
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disponibilidad potencial de talento humano con alto nivel educacional y profesional y con experiencia en el tema.</li> <li>2. Infraestructura fortalecida y capacidades analíticas para el muestreo y análisis de HAPs a partir de una red de monitoreo.</li> <li>3. Existencia de colaboración entre grupos e instituciones afines, tanto a nivel nacional como internacional, con enfoque participativo y contextual en la construcción del conocimiento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falta de recursos (reactivos, transporte, etc.) que permitan ampliar las campañas de monitoreo.</li> <li>2. Carencia de tecnologías con alta sensibilidad para investigaciones futuras.</li> <li>3. Baja percepción del peligro que pueden representar estos contaminantes para la salud humana y el medioambiente.</li> <li>4. Ensayos no acreditados.</li> <li>5. No existencia de regulaciones de HAPs en suelo.</li> </ol>

<p>4. Existencia de canales de comunicación y divulgación para la socialización de los resultados nacional e internacionalmente.</p> <p>5. Alta capacidad de producción nacional de carbón vegetal como alternativa de remediación.</p>	<p>6. No se cuenta con resultados nacionales acerca del uso de carbón vegetal en la remediación.</p>
<p><b>Amenazas</b></p>	<p><b>Oportunidades</b></p>
<p>1. Cambia la política internacional sobre los HAPs y su impacto en la sostenibilidad de los recursos naturales.</p> <p>2. Debido al desarrollo tecnológico se establecen valores umbrales u orientativos de concentraciones a niveles muy bajos.</p>	<p>1. Posibilidades de continuidad de la colaboración en la identificación y ejecución de nuevos proyectos de interés nacional.</p> <p>2. Vinculación entre los centros de investigación con responsabilidad social ubicados en el entorno. Participación activa para lograr el desarrollo contextual de la temática, sobre todo a nivel territorial en la consecución de municipios inteligentes por un desarrollo ambiental próspero y sostenible.</p> <p>3. Diferentes legislaciones internacionales en relación con la presencia de HAPs en suelos y la necesidad de armonizar las mismas.</p> <p>4. La remodelación de la Bahía de La Habana y el desarrollo de nuevos asentamientos humanos requieren de la evaluación ambiental de diferentes ecosistemas.</p> <p>5. No existen estudios nacionales de peligro, vulnerabilidad y riesgo en relación con los HAPs.</p> <p>6. Necesidad de aportar informaciones al CITMA acerca de los HAPs en suelos que permitan cumplir con los convenios internacionales donde Cuba es firmante.</p>

**Principales acciones estratégicas:**

1. Fortalecer la infraestructura tecnológica con alta sensibilidad (detectores de masa).
2. Aprovechar los recursos humanos en la búsqueda de nuevos proyectos que permitan la adquisición de nuevas infraestructuras tecnológicas.
3. Solicitar acreditaciones de los procedimientos analíticos relacionados con la evaluación de contaminantes ambientales en suelos.
4. Lograr la excelencia en el tema de la gestión ambiental a través de diferentes procedimientos para la evaluación de la contaminación de HAPs en suelos.
5. Establecer una estrategia de sensibilización y capacitación de los HAPs a todos los actores sociales (población, campesinos y decisores a nivel municipal, provincial y nacional).
6. Realizar investigaciones de conjunto con el Ministerio de Salud Pública acerca de los peligros, vulnerabilidades y riesgos de los HAPs en poblaciones que habiten en las zonas que sobrepasan los límites orientativos en suelos agropecuarios o urbanos.

7. Fortalecer la red de monitoreo de HAPs en suelos y extenderla a otras provincias. Ello permitirá una caracterización más integral en relación con el uso y propiedades del suelo.
8. Elaborar protocolos de remediación con el uso de carbón vegetal de producción nacional y compararlos con los métodos de biorremediación y evaluar la relación costo-beneficio de cada uno.

## CONCLUSIONES

La identificación y análisis colectivo de la matriz DAFO en los talleres de diagnóstico participativo permitió plantear estrategias que contribuyen al fortalecimiento de la gestión medioambiental de los suelos contaminados por HAPs en los territorios seleccionados.

Se identifica, por primera vez en Cuba, la presencia de HAPs en suelos procedentes de zonas con elevada densidad poblacional que sobrepasan los valores de intervención ( $10 \text{ mg kg}^{-1}$ ) de acuerdo con la legislación establecida por la Fundación Nacional de Ciencia de Suiza.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bogdal, C.; Scheringer, M.; Abad, E.; Abalos, M.; Van Bavel, B.; Hagberg, J.; Fiedler, H. (2013). Worldwide distribution of persistent organic pollutants in air, including results of air monitoring by passive air sampling in five continents. *TrAC Trends Anal Chem.* 46, p. 150–161.
- Bucheli, T. D.; Blum, F.; Desaulles, A.; Gustafsson, Ö. (2004). Polycyclic aromatic hydrocarbons, black carbon and molecular markers in soils of Switzerland. *Chemosphere.* 56, p. 1061-1076.
- CITMA. (2007). Estrategia Ambiental Nacional 2007 / 2010. R-40-07-CITMA. Disponible desde: <<http://www.medioambiente.cu/legislacion/R-40-07-CITMA.pdf>>.
- CITMA. (2008). Plan de Aplicación Nacional para la Gestión de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) fase 1: 2008-2012. GAIA: Editorial Gestión Ambiental. ISBN 978-959--287-007-09.
- CITMA. (2009). Aprobación del Programa Nacional de Lucha contra la Contaminación del Medio Ambiente para el período 2009-2015. R-23-09-CITMA. Disponible desde: <<http://www.medioambiente.cu/legislacion/R-23-09-CITMA.pdf>>.
- Companioni-Damas, E.Y.; Núñez, A.C.; Cora, M.O.; Rosabal, R.M.; González, B.L.; Marbot, R.; Montes de Oca, P. R.; Díaz, D.M.A. (2011). Hidrocarburos antropogénicos en sedimentos del litoral nordeste de La Habana. *Cienc. Mar.* 37 (2).
- Cora, M. O.; Colás, A.J.; Díaz, D.M.A.; Navarro, F.A.E. (2011). Determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en emisiones estacionarias de la industria petrolera cubana. *XXIII* (2), p. 10-15.
- Domínguez, G.O.L.; Ramos, L.M.; Sánchez, R.A.; Manzano, A.M.; Argüelles, A.J.; Sánchez, L.M.I.; Guerra, R.G. (2011). *Revista CENIC Ciencias Biológicas.* 42 (2), p. 51-59.
- EFSA. (2008). European Food Safety Authority. Findings of the EFSA. Data Collection on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. A Report from the Unit of Data Collection and Exposure on a Request from the European Commission EFSA/DATEX/002. Disponible en <<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/33r.htm>>.
- FAO. (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. Disponible en <<http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>> [Diciembre, 2016].
- García, C.D.; Ruíz, G.L.; Lima, C.A.; Calderón, P.P.A. (2014). Los límites naturales como elementos claves en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. *Cuba: Medio Ambiente y Desarrollo.* 14 (26), ISSN-1683-8904.

- GO. (1997). Gaceta Oficial de la República de Cuba. Ley 81 Del Medio Ambiente. La Habana, 1997. Ed. extraordinaria.
- Hernández, J.A.; Pérez, J.J. M.; Bosch, I. D.; Castro, S. N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba. Ediciones INCA, Cuba, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- Hussain, K. & Hoque, R. R. (2015). Seasonal attributes of urban soil PAHs of the Brahmaputra Valley. *Chemosphere*. 119, p.794-802. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.08.021>.
- Jaward, F. M.; Barber, J.L.; Boij, K.; Jones, K. C. (2004). Spatial distribution of atmospheric PAHs and PCNs along a north-south Atlantic transect. *Environmental Pollution*.132, p.173-181.
- Jenings, A. A. (2012). Worldwide regulatory guidance values for surface soil exposure to non-carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Environmental Management*. 101, p.173-190.
- Keith, L. H. (2015). The Source of US EPA's Sixteen PAH Priority Pollutants. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 35 (2-4), p.147-160.
- Kuppusamy, S.; Thavamani, P.; Venkateswarlu, K.; Lee, Y. B.; Naidu, R.; Megharaj, M. (2017). Remediation approaches for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contaminated soils: Technological constraints, emerging trends and future directions. *Chemosphere*. 168, p.944-968.
- Lawrence, H. K. (2015). The Source of U.S. EPA's Sixteen PAH Priority Pollutants. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 35, p.147-160.
- Ma, W.; Ding, X.; Long, J.; Wang, L.; Liu, H.; Liu, S.; Dai, J. (2017). Source Analysis and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Paddy Soils. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*. p. 1-17.
- Maliszewska-Kordybach, B. (1996). Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in Poland: preliminary proposals for criteria to evaluate the level of soil contamination. *Applied Geochemistry*. 11(1-2), p.121-127.
- Norma Cubana. (2010). NC: 819/2010. Manejo de Fondaje de Tanques de Almacenamiento de Petróleos y sus Derivados, Habana, Cuba.
- Oluwatoyin, T.; Adetunde, G. A.; Millsb, K. O.; Olayinkaa, B.I.A. (2014). Assessment of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons via involuntary ingestion of soil from contaminated soils in Lagos, Nigeria. *J Environ Sci Health ATox Hazard Subst Environ Eng*. 49(14), p. 1661-1671.
- RC. (2002). Artículo 27 de la CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DE CUBA. Disponible en <<http://www.cuba.cu/gobierno/cuba.htm>>. [marzo 2017].
- SAEFL. (2003). Swiss Legislation. Sampling and simple pretreatment for soil pollutant monitoring. Ordinance related to impacts on soils (2003). Disponible en <[http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814\\_12.html](http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_12.html)>. [April 11, 2015].
- Sarma, H.; Islam, N.F.; Borgohain, P.; Sarma, A.; Prasad, M.N.V. (2016). Localization of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in surface soil of Asia's oldest oil and gas drilling site in Assam, northeast India: Implications for the bio-economy. *Emerging Contaminants*. Disponible desde: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.emcon.2016.05.004>>.
- SETAC NANTES-FRANCIA. (2016). SETAC Europe 26th Annual Meeting 22-26 May 2016, Nantes-France. Libro Resumen disponible en <[https://c.ymcdn.com/sites/www.setac.org/resource/resmgr/Abstract\\_Books/SETAC\\_Europe\\_Abstractbook\\_Na.pdf](https://c.ymcdn.com/sites/www.setac.org/resource/resmgr/Abstract_Books/SETAC_Europe_Abstractbook_Na.pdf)>. [marzo 2017].

- SETAC ORLANDO-MIAMI. (2016). 7th SETAC World Congress/SETAC North America 37th Annual Meeting. 6-16 noviembre del 2016. Libro Resumen disponible en <[http://orbit.dtu.dk/files/127765740/SETAC\\_Orlando\\_Abstract\\_Book.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/127765740/SETAC_Orlando_Abstract_Book.pdf)>. [marzo 2017].
- SISA (2015). II Seminario Internacional de Sanidad Agropecuaria (SISA). Exposición ambiental a los Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAHs) , Bifenilos Policlorados y Metales pesados en los suelos agropecuarios de la Provincia Mayabeque; Cuba. 18-22 de mayo del 2015. Arturo Escobar; Dayana Sosa Pacheco; Roberto Faure y Yanet López.
- Sosa, D.; Hilber, I.; Faure, R.; Bartolomé, N.; Fonseca, O.; Keller, A.; Schwab, P.; Escobar, A.; Bucheli, T. D. (2017). Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in soils of Mayabeque, Cuba. *Environmental Science and Pollution Research* 24:12860–12870.
- Teng, Y.; Zhou, Q.; Miao, X.; Chen, Y. (2015). Assessment of soil organic contamination in a typical petrochemical industry park in China. *Environmental Science and Pollution Research*. 22 (13), p.10227-10234.
- Tobiszewski, M.; Namiesnik, J. (2012). PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emissions sources. *Environmental Pollution*. 162, p. 110-119.
- Tolosa, I.; Mesa-Albernas, M.; Alonso-Hernández, C. M. (2009). Inputs and sources of hydrocarbons in sediments from Cienfuegos bay, Cuba. *Marine Pollution Bulletin*. 58 (11), p.1624-1634.
- TV (2017). Disponible en <<https://www.youtube.com/channel/UCKIADpIoaBkc3xbmzBH4Sgg>>.
- UNEI. (2015). Convenios y compromisos internacionales de los que Cuba es parte en el ámbito ambiental. Disponible desde: <<http://www.one.cu/publicaciones/04industria/medioambientecifras/anual/66.pdf>>. [marzo 2017].
- Valdéz, I. (2015). Acciones por el entorno. Periódico Mayabeque, ISSN 1563-8340.
- Vilches, A.; Gil, P.D.; Toscano, J.C.; Macías, O. (2014). Lucha contra la contaminación [on line]. ISBN 978-84-7666-213-7 Disponible en <<http://www.oei.es/decada/accion.php?accion=8>>. [julio, 2016].
- Wallo. (2003). Análisis cualitativo de la contaminación atmosférica. Disponible en <[http://www.met.inf.cu/sometcuba/boletin/v08\\_n02/art\\_wallo03.htm](http://www.met.inf.cu/sometcuba/boletin/v08_n02/art_wallo03.htm)> [abril 2016].
- Wang, W.; Massey-Simonich, S.L.; Xue, M.; Zhao, J.; Zhang, N.; Wang, R.; Cao, J.; Tao, S. (2010). Concentrations, sources and spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from Beijing, Tianjin and surrounding areas, North China. *Environmental Pollution*. 158, p. 1245-1251.
- Wang, X.T.; Miao, Y.; Zhang, Y.; Li, Y.Ch.; Wu, M.H.; Yu, G. (2013). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban soils of the megacity Shanghai: Occurrence, source apportionment and potential human health risk. *Science of the Total Environment*. 447, p. 80–89.
- Wilcke, W. (2007). Global patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil. *Geoderma*. 141, p. 157–166.
- Wong, F.; Robson, M.; Diamond, M.L.; Harrad, S.; Truong, J. (2009). Concentrations and chiral signatures of POPs in soils and sediments: a comparative urban versus rural study in Canada and UK. *Chemosphere*. 74, p.404–411.
- Xiaolong, S.; Yaping, X.; Wen, Z.; Jungang L. (2015). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Pollution in Agricultural Soil in Tianjin, China. *Journal Soil and Sediment Contamination*. 24(3), p. 343-351.

Zhang, Y.; Tao, S. (2009). Global atmospheric emission inventory of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) for 2004. *Atmospheric Environment*. 43, p: 812–819.