



# MAPA DE RIESGO PARA LA SALUD EN UN ÁREA CONTAMINADA CON HIDROCARBUROS DE MÉXICO

ROSA MARÍA FLORES SERRANO<sup>1</sup>, JUDITH GUADALUPE RAMOS HERNÁNDEZ<sup>2</sup>, ANA ALEJANDRINA CASTRO RODRÍGUEZ<sup>1</sup> Y GUILLERMINA PÉREZ CASIMIRO<sup>1</sup>  
1- COORDINACIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL, 2 - COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA, INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

## INTRODUCCIÓN

Para este trabajo se analizaron muestras de suelo para determinar la concentración de hidrocarburos fracción pesada (HFP) como los define la Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMAR-NAT/SSA-2003. Estos resultados, junto con imágenes de satélite y los sistemas de información geográfica (SIG), sirvieron para generar mapas de concentración de hidrocarburos. Con las concentraciones se hicieron cálculos de riesgo para la salud humana; los resultados se plasmaron en mapas de riesgo que pueden ayudar en la toma de decisiones en la gestión de sitios contaminados.

Un resumen de este trabajo se presentó en enero pasado en la Reunión Informativa Anual del Instituto de Ingeniería, y una versión más amplia del mismo se presentará en el II Congreso de la Sociedad de Análisis de Riesgo, región Latinoamérica, que se llevará a cabo en Bogotá, Colombia, del 9 al 12 de abril de 2012.

## METODOLOGÍA

La zona de estudio corresponde a un sitio contaminado por hidrocarburos ubicado en el norte de México, cuya extensión es de aproximadamente 900 ha. La mayor parte del terreno presenta un estrato superficial de arcilla gris ligeramente arenosa, con fragmentos de hidrocarburo intemperizado y de sal. En cuanto al agua subterránea, el terreno se encuentra sobre paquetes de material con posibilidades bajas de explotación. De un estudio previo realizado en el año 2007 por el Instituto de Ingeniería, UNAM, se tenían resultados de concentraciones superficiales de hidrocarburos fracción ligera (HFL), hidrocarburos fracción media (HFM), HFP e hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP), para 176 puntos de muestreo.

Se adquirieron imágenes de satélite Landsat con una resolución de 30 m tamaño de pixel, así como imágenes con mayor resolución espectral como Spot5 (20 m tamaño de pixel) y Rapid Eye (5 m tamaño de pixel). Las imágenes fueron sometidas a un preprocesamiento para corregirlas geométrica, radiométrica y atmosféricamente a fin de obtener valores de reflectancia. Con los valores de reflectancia se obtuvieron índices de vegetación, suelo y agua, y las relaciones de las bandas del visible e infrarrojo cercano y medio, características de la presencia de hidrocarburos. El procesamiento de las imágenes se realizó con el programa ERDAS Imagine v10. Con esta información se generó un mapa de clasificación no supervisada (MCNS) a fin de identificar la cobertura vegetal presente y discriminar algunos puntos donde se presumiera la presencia del hidrocarburo (distribución estimada de concentraciones),

en particular de HFP, que fue el hidrocarburo de mayor magnitud y distribución. Para este propósito sirvieron de referencia los resultados que se tenían de 2007 que, si bien debido al intemperismo podían tener variación respecto a la concentración actual, se esperaba que siguieran conservando la misma proporción.

Con el MCNS de HFP se realizó una visita al sitio de estudio a fin de verificar en campo la existencia de este contaminante. Se tomaron 17 muestras de suelo superficial (0-15 cm) en sitios varios en cuanto a cobertura y grado de contaminación. Las muestras se tomaron con auger y se preservaron a 4 °C. Los análisis se realizaron con los métodos analíticos EPA 8260B, EPA 8015B, EPA 1664A y EPA 8270D, para determinar HFL, HFM, HFP y HAP, respectivamente. Los resultados de las muestras de suelo confirmaron la presencia de HFP en los puntos seleccionados, y con estas concentraciones se definió la firma espectral para dar lugar al mapa de clasificación supervisada (MCS), donde se definieron 5 clases (intervalos) de concentración de HFP:  $\leq 1,000$  mg/kg,  $>1,000-10,000$  mg/kg,  $>10,000-20,000$  mg/kg,  $>20,000-40,000$  mg/kg y  $>40,000$  mg/kg.

De manera paralela, con los resultados de las 17 muestras de suelo se generó un mapa de isoconcentraciones de HFP, empleando el programa GeoStatistical Analyst del Sistema de Información Geográfica ArcGIS versión 9.3, con interpolación de la media ponderada por el inverso de la distancia. Se utilizaron 15 vecinos para realizar la estimación y un valor de 2 para p. El uso de los métodos de interpolación espacial que están como herramienta en el ArcGIS, entregan como resultado un mapa tipo raster, o sea, un área discretizada en celdas donde cada una de ellas tiene un valor numérico referido al parámetro interpolado, en este caso, HFP. La configuración obtenida se usó para corregir el MCS obtenido a partir de las imágenes de satélite. Posteriormente, sobre la imagen del MCS se trazó una malla de 125x125 m y a cada nodo se le asignó la concentración indicada en dicho mapa. Con estos nuevos datos se generó un mapa de isoconcentraciones más detallado en el cual se conservaron los mismos intervalos de concentración usados en el MCS.

Las concentraciones máximas de cada intervalo de concentración definido con el MCS se usaron para el cálculo de los valores de riesgo para la salud. El escenario de estudio mostrado en este resumen comprendió a receptores con uso de suelo residencial (niños de 0 a 12 años de edad) expuestos a HFP por las vías de exposición de ingestión y contacto dérmico de suelo. No se presentan los resultados para la vía de ingestión de agua subterránea por razones de espacio.

Los cálculos de riesgo para la salud se realizaron con el programa RBCA Tool Kit for Chemical Releases v2.5e (GSI Environmental). El valor estimado de riesgo que se calculó fue el cociente de peligro (CP), que se refiere a sustancias no cancerígenas. Este cociente es un número adimensional que resulta de dividir la dosis de exposición entre un valor toxicológico de referencia denominado dosis de referencia (DRf). Existen DRf para cada vía de exposición. Si  $CP \geq 1$ , entonces se dice que se ha rebasado el valor de riesgo aceptable.

No existen valores toxicológicos de referencia para las fracciones de hidrocarburos definidos en la normatividad mexicana; por tal motivo en este trabajo se usaron los valores de DRf reportados por TPHCWG (1997) para hidrocarburos con cadenas de carbono de  $>C_{21}->C_{35}$  (fracción aromática). Se evaluaron únicamente efectos no cancerígenos, porque para este tipo de contaminantes no existen valores de pendiente de cáncer reportados. Asimismo, no se evaluó la vía inhalatoria, porque TPHCWG (1997) establece que para los hidrocarburos pesados esta vía de exposición es despreciable.

### RESULTADOS

Los CP obtenidos para las concentraciones máximas de HFP de los intervalos de concentración definidos fueron 0.32 (1,000 mg/kg), 3.2 (10,000 mg/kg), 6.4 (20,000 mg/kg), 13 (40,000 mg/kg) y 16 (50,000 mg/kg). Como puede verse, todas las concentraciones, a excepción de la de 1,000 mg/kg, rebasaron el valor de riesgo aceptable ( $CP = 1$ ).

Los valores de riesgo obtenidos se plasmaron en los MCS (cada intervalo de concentración correspondió al valor de riesgo correspondiente) y los mapas de isoconcentraciones. En las figuras 1 y 2 se muestran el mapa de riesgo detallado que se obtuvo con la clasificación supervisada de concentraciones de HFP y el mapa de riesgo general obtenido con las isoconcentraciones, respectivamente.

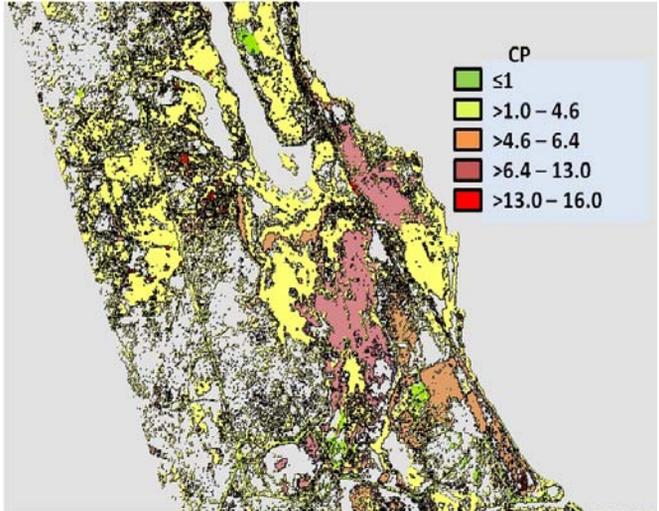


Figura 1. Mapa de riesgo detallado (cocientes de peligro, CP), basado en los intervalos de concentraciones de HFP y su distribución, obtenidos con el MCS.

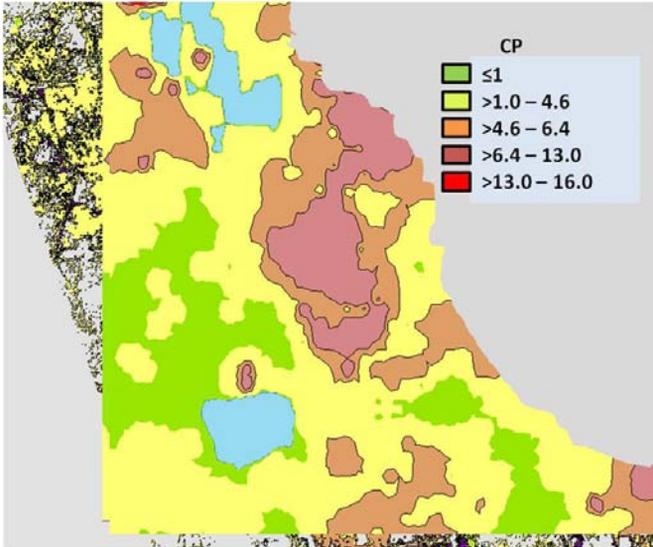


Figura 2. Mapa de riesgo general (cocientes de peligro, CP), basado en la distribución de concentraciones de HFP obtenido con el mapa de isoconcentraciones.

### CONCLUSIONES

Los mapas de riesgo para la salud humana obtenidos con métodos de percepción remota y SIG permiten realizar de manera más rápida y económica la toma de decisiones respecto a la ubicación de núcleos de población humana en sitios contaminados con hidrocarburos.

Los resultados obtenidos hasta el momento indican un porcentaje bajo de precisión (75%) lo cual se atribuye a la aplicación del método de escalamiento entre las muestras puntuales y el tamaño de pixel.

### REFERENCIAS

TPHCWG, "Development of Fraction Specific Reference Doses (RfDs) and Reference Concentrations (RfCs) TPH", TPH Criteria Working Group Series, Volume 4, Amherst Scientific Publishers, 1997. ❖