

## PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA UBICACIÓN DE ÁREAS DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

J. Teodoro SILVA, Francisco ESTRADA, Salvador OCHOA y Gustavo CRUZ

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, CIIDIR-IPN-Michoacán-México. COFAA, Justo Sierra 28, 59510, Jiquilpan, Mich. Correo electrónico: tsilva09@hotmail.com

*(Recibido septiembre 2006, aceptado noviembre 2006)*

Palabras clave: contaminación, riesgo ambiental, rellenos sanitarios

### RESUMEN

Se propone una metodología encaminada a la localización de sitios ambientalmente seguros para la disposición de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), que deberán cumplir con todos los requerimientos indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SE-MARNAT-2003, como son: afectaciones a obras civiles (autopistas, aeropuertos, oleoductos, gasoductos, torres de energía eléctrica, áreas naturales protegidas), distancias mínimas a poblaciones, cuerpos de agua, zonas de inundación, fallas geológicas, taludes inestables e hidrogeología. Esta investigación se realizó en la región del Bajío Michoacano, comprendiendo los municipios de Zináparo, Numarán, Penjamillo, Ecuandureo, Churintzio y La Piedad. Los factores considerados fueron: vulnerabilidad acuífera, uso actual del suelo, densidad de fracturamiento, infraestructura urbana e industrial y áreas de inundación. El análisis de cada uno de los factores anteriores se realizó en áreas de 0.25 km<sup>2</sup>; a cada factor se le asignó un rango y peso, integrándolos posteriormente en rangos normalizados en escala de 0-1. Los pesos varían de 1 a 5 y representan la influencia en el impacto ambiental y social del factor considerado, siendo el valor de 5, el de mayor relevancia y 1 el de menor impacto. El proceso de la información implicó álgebra de mapas para obtener como producto final un mapa paramétrico denominado Índice de Riesgo Ambiental (IRA). Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 16-160, proponiéndose con ello, seis niveles de riesgo ambiental que son: Extremadamente alto, Muy alto, Alto, Medio, Bajo y Muy bajo.

Key words: pollution, environmental risk, landfill

### ABSTRACT

A methodology aimed at locating safe environmental sites for the disposal of Urban Solid Waste is proposed, such disposal must comply with the requirements of the Official Mexican Norm NOM-083-SEMARNAT-2003. This norm includes: damage to public projects (highways, airports, oil ducts, gas ducts, electric energy poles and natural protected areas), shortest distances to towns, bodies of water, flooding areas, geological fault, unstable landslides and hydrogeology. This research project was performed in the lowland region of Michoacán covering the municipalities of Zináparo, Numarán, Penjamillo, Ecuandero, Churintzio and La Piedad. The factors taken into account were: aquifer vulnerability, use soil, fracturing density, urban and industrial infrastructure and

flooding areas. The analysis of each of the above factors was done in 0.25 Km<sup>2</sup> areas. Each factor was assigned a range and weight, which was then integrated into normalized ranges in a 0-1 scale. The weights varied from 1 to 5 representing the influence on the environmental and social impact of the considered factor, being 5 de most relevant and 1 the least influential. The processing of information required algebra of maps, to obtain as a final product, a parametric map named Environmental Risk Index (ERI). The resulting values were in the 16- 160 range. Thus, six risk environmental levels were proposed: Extremely high, very high, high, mid, low and very low.

## INTRODUCCIÓN

En México la falta de asesoría técnica para la recolección eficiente y disposición final segura de RSU son las principales causas del deterioro ambiental (Pérez *et al.* 2002, Buenrostro e Israde 2003), porque al estar los residuos en contacto con el oxígeno, los microorganismos inician el proceso de descomposición generando malos olores y gases tóxicos, además, de contaminación visual y del agua subterránea (Villafuerte *et al.* 2004).

Aunque ya existen metodologías para ubicar sitios para la disposición final de RSU, estas tienen restricciones y no se apegan a criterios establecidos por la Norma Oficial. Por ejemplo, la propuesta que presentan Bosque *et al.* (1999), tiene la desventaja de que no se toman en cuenta factores como suelo, aguas superficiales o subterráneas y se enfocan más al aspecto social y económico, de acuerdo a las conclusiones de los autores.

Por otra parte, Mena *et al.* (2006) emplearon una técnica conocida como evaluación multicriterio, pero la desventaja de ésta, es que los pesos que se designan a cada factor que interviene en la ubicación de sitios están de acuerdo con un modelo matemático que utiliza el programa y éste debe de modificarse para cada escenario y variables diferentes.

En este trabajo se plantea una metodología enfocada a la localización de un sitio para la disposición final de RSU que cumpla con todos los requerimientos de la Norma Oficial Mexicana (NOM-083-SEMARNAT-2003) como son: afectaciones a obras civiles (autopistas, aeropuertos, oleoductos, gasoductos, torres de energía eléctrica, áreas naturales protegidas), distancias mínimas a poblaciones, cuerpos de agua, zonas de inundación, fallas geológicas, taludes inestables e hidrogeología. La metodología busca preservar lo más posible el entorno local y regional, es decir, evitar que la obra que ahí se proyecte se convierta en un problema

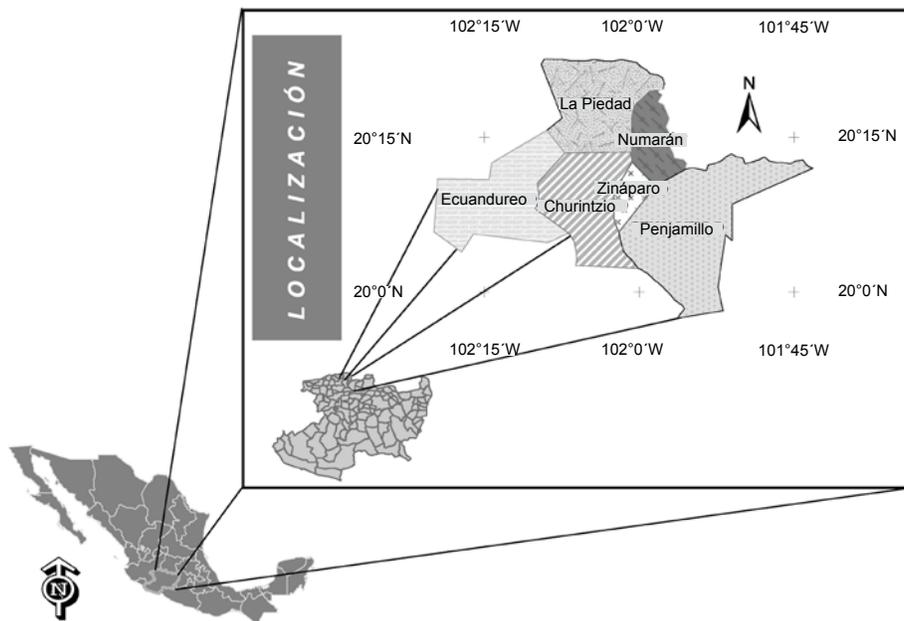


Fig. 1. Localización de área de estudio

ambiental y pueda generar conflictos sociales o de salud pública a corto plazo.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

La zona de estudio está ubicada al norte del estado de Michoacán (Fig. 1), entre las coordenadas 102° 02' de longitud oeste y de 20° 21' de latitud norte y una altitud de 1,680 m. El clima predominante de acuerdo con García (1988), es templado subhúmedo con lluvias en verano  $C(w_1)(w)$ .

Geológicamente, la región se localiza en la porción central del cinturón volcánico mexicano, específicamente dentro del denominado Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (Hasenaka y Carmichael, 1985).

Predomina el vulcanismo plio-cuaternario generado por la subducción de la placa de Cocos. La geología es de tipo calco-alcalina y varía desde un basalto hasta riolita, conformando así a los grandes edificios escudo de la zona como los cerro Grande, de Churintzio y de Zináparo (Pardo y Suárez 1995).

El método consistió en un análisis por cuadrantes de 0.25 km<sup>2</sup> (espacio suficiente para el diseño de un proyecto de manejo integral, a 25 años, de los RSU, que involucre áreas administrativas, de separación, compostaje y sepultamiento para una generación diaria de 100 ton día<sup>-1</sup>) de cinco factores, a todos ellos se les asignó un rango, mismo que fue normalizado a una escala de 0 a 1 y posteriormente fue multiplicado por un peso (P), que representa de manera numérica el grado de importancia e influencia que cada factor tiene en el ámbito ambiental, siendo el valor de 5, el índice de mayor impacto y 1 el de menor. (Cuadro I)

El Índice de Riesgo Ambiental (IRA) será la suma

de los factores considerados, el cual se representa con la siguiente ecuación:

$$IRA = V V_w + Us Us_w + Fr Fr_w + In In_w + Zi Zi_w$$

Donde IRA es el Índice de Riesgo Ambiental;  $V V_w$  es la vulnerabilidad acuífera;  $Us Us_w$  representa el uso del suelo;  $Fr Fr_w$  se refiere a la densidad de fracturamiento;  $In In_w$  representa el dominio de la infraestructura urbana e industrial; y  $Zi Zi_w$  se refiere a las áreas de inundación.

El proceso de la información implicó algebra de mapas, se utilizó el programa ArcView de ESRI®, para obtener como producto final un mapa paramétrico al que se llamó Índice de Riesgo Ambiental.

**Descripción de los factores que componen el Índice de Riesgo Ambiental**

*Vulnerabilidad acuífera.* Se refiere a las características intrínsecas que determinan la susceptibilidad a ser adversamente afectado por una carga contaminante, debido al impacto humano o natural. Para el cálculo de este factor se utilizó el método SINTACS (Civita y De Maio 2000), basado en siete factores que son: profundidad del nivel estático (S); infiltración efectiva (I); capacidad de atenuación de la zona no saturada (N); tipo de suelo (T); características hidrogeológicas del acuífero (A); conductividad hidráulica (C); topografía (S). Dado el aspecto decisivo en el esquema de protección del agua subterránea es el primer factor a considerar para el cálculo del IRA, asignándole el peso máximo de 5. La generación de información para el cálculo de este factor se asocia con los aspectos mencionados en la Norma Oficial referidos a cuerpos de agua, fallas geológicas, taludes inestables e hidrogeología.

*Uso actual del suelo.* Actualmente en el estado

**CUADRO I. FACTORES QUE DEFINEN EL ÍNDICE DE RIESGO AMBIENTAL**

Vulnerabilidad acuífera P=5		Uso del suelo P=4		Fracturamiento P=3		Infraestructura P=2		Zona de inundación P=2	
Escala	Rango	Escala	Rango	Escala	Rango	Escala	Rango	Escala	Rango
EA	10	Asentamientos Urbanos	10	EA	10	Ductos de PEMEX	10	EA	10
MA	8-9	Agricultura de riego	8-9	MA	8-9	Líneas de alta tensión	8-9	MA	8-9
A	6-7	Forestal	6-7	A	6-7	Pistas aéreas	6-7	A	6-7
M	4-5	Temporal	4-5	M	4-5	Ferrocarriles	4-5	M	4-5
B	3	Pastizales	3	B	3	Canales y Drenes	3	B	3
MB	1-2	Matorrales	1-2	MB	1-2	Carreteras Federales y estatales	1-2	MB	1-2

EA=Extremadamente Alto, MA=Muy Alto, A=Alto, M=Medio, B=Bajo, MB=Muy Bajo

de Michoacán, las autoridades ambientales impulsan la creación de centros integrales de tratamiento de residuos sólidos, con políticas de separación y reciclamiento, confinando sólo los residuos que no puedan ser aprovechados, con esto, se logra una mayor vida útil del área de confinamiento, que se diseña con tecnología de relleno sanitario, desechando la idea del confinamiento total de la basura, que tiene un rechazo social muy alto. Por ello, con el análisis detallado del uso del suelo se pretende minimizar el impacto que dicha obra tendría hacia la sociedad a la cual va a servir. Un aspecto muy importante es la distancia a las poblaciones (se aplica la Norma Oficial) cuidando el impacto visual, ruido y la dirección del viento y otro es el uso y tenencia de la tierra, dada la directa relación que existe en el costo del mismo en función de su uso actual. Se buscan preferentemente sitios con nula actividad económica; debido a su importancia, el peso asignado a este factor fue 4.

*Densidad de fracturamiento regional.* Este parámetro se refiere a aquellas zonas potenciales de recarga del acuífero o bien a áreas cuyo papel hidrodinámico sería el de zonas de descarga. Para ello se localizaron todos aquellos rasgos estructurales como son fallas y fracturas. Este factor se asocia al ámbito hidrogeológico mencionado en la Norma Oficial. Por su importancia en el esquema de protección del recurso agua se le asignó un peso de 3.

*Infraestructura urbana e industrial.* Se tomaron los siguientes elementos mencionados en la normatividad: ductos de Petróleos Mexicanos (PEMEX), carreteras federales y estatales, caminos rurales, líneas de alta tensión y aeropuertos; con área de influencia de 500 m (referidos al eje) para ductos de PEMEX, 250 m para carreteras federales y estatales, 100 m para caminos rurales, 250 m en líneas de alta tensión y 13 km del centro de las pistas de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto; el peso asignado para este factor es 2.

*Áreas de inundación.* La Norma Oficial menciona como áreas restrictivas aquellas que sean susceptibles a inundaciones con periodos de retorno de 100 años, es por ello que se considera este factor y se le asignó un peso de 2.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Vulnerabilidad acuífera

Para determinar este factor se aplicó el método SINTACS (Civita y De Maio 2000), este índice se

determinó multiplicando cada uno de los factores considerados por el autor, por la puntuación del rango, mismo que puede variar de 1 a 10 puntos, dependiendo de las condiciones planteadas para cada factor, siendo el valor más alto el que describe condiciones más adversas. La siguiente ecuación define cada uno de estos factores:

$$I = \sum_{j=1}^7 P_j W_j$$

Donde: I= Sintacs; P<sub>j</sub>=Peso; W<sub>j</sub>= Rango

A continuación se describe cada factor:

*Profundidad del nivel estático (S).* Un monitoreo directo de este parámetro se llevó a cabo en época de estiaje en pozos profundos; para esta temporada, la profundidad de dichos niveles varió de 25 a 150 m, los valores menores se registraron hacia el graben de Penjamillo y áreas aledañas al río Lerma y estribaciones volcánicas existentes.

Los niveles mayores a 100 m se midieron en la porción central de la zona de estudio, donde incluso se han perforado pozos a profundidades de 250 m con resultados negativos para su explotación; los rangos predominantes considerando la escala propia del método estuvieron entre 3 y 8.

*Infiltración (I).* Proceso por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la misma. Este factor involucra aspectos relacionados con la temperatura y la precipitación y está en función de la condición geológica y la textura del suelo.

El análisis de los datos obtenidos de la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua (CNA) reporta una precipitación anual promedio de 800 mm. Por lo que el rango de infiltración calculado oscila entre 200 y 420 mm año<sup>-1</sup>; correspondiendo una puntuación entre 5 y 9.

*Capacidad de atenuación de la zona no saturada (N).* Considerada como la “segunda línea de defensa” del sistema acuífero, depende esencialmente de las características texturales, minerales, granulométricas, de fracturamiento y del espesor reportado del complejo hidrogeológico. Para la zona se consideraron ambientes como rocas piroclásticas, rocas volcánicas fracturadas, aluviones de granulometría media y fina; cuyos rangos estuvieron entre 3 y 9 puntos.

*Tipo de suelo (T).* Este es la “primera línea de defensa” del acuífero. En la región, abundan los suelos de tipo arcillo-arenoso, en tanto que en las periferias del valle predominan los suelos arenosos. Este hecho se refleja en los índices obtenidos para este parámetro, donde los valores más bajos

se encuentran en la zona de menor pendiente y los más altos en las zonas montañosas; la puntuación quedó entre 2 y 7.

**Complejo hidrogeológico (A).** Referido al tipo de acuífero, en la región prevalecen las condiciones de libre o semiconfinado, asociando cada categoría a las características geológicas. El método presenta una clasificación de cada condición y los valores asignados están entre 6 y 10, para ambientes de rocas volcánicas fracturadas, piroclásticas, depósitos aluviales y depósitos de caída.

**Conductividad hidráulica (C).** Parámetro obtenido por correlación directa con materiales cuyos valores son reportados en la bibliografía y que ofrecen similitud con el tipo de litología presente en la región. Así, los valores obtenidos en el área han sido mayores para medios fracturados que para granulares, esta misma respuesta se ve en la distribución de los índices calculados. Sin embargo, algunas estructuras permeables como son las fallas regionales tienen fuerte influencia en los valores altos de este parámetro; los valores asignados estuvieron entre 5 y 7 que equivalen a valores de  $1E-5$  a  $1E-4$   $m\ s^{-1}$ .

**Topografía (S).** Está relacionada con la velocidad de desplazamiento del agua superficial. Se obtuvieron los valores de los distintos grados de pendientes con el

apoyo de cartografía digital y mediciones directas en campo; prevalecieron las pendientes abruptas con valores superiores a 30 %. Las áreas de menor pendiente estuvieron entre 5 y 8 %. Por lo anterior los valores oscilaron entre 1 y 8 puntos, ubicándose los índices más altos hacia los valles mientras que los más bajos en las estribaciones de las partes montañosas.

**SINTACS.** El plano de vulnerabilidad es el resultado de la suma aritmética de los siete parámetros. Los valores altos de la suma representan áreas potenciales de contaminación del agua subterránea. El mínimo total del índice es 26 en tanto que el máximo es 260. Civita y De Maio (2000) proponen seis niveles de vulnerabilidad. En la **figura 2**, se muestra el mapa obtenido, observándose una correlación directa entre las áreas de mayor vulnerabilidad y el patrón estructural predominante.

### Uso del suelo

Los parámetros o factores considerados fueron: agricultura de riego, agricultura de temporal, uso forestal, pastizales, matorrales y asentamientos urbanos. Este último como factor más importante situándose a no menos de 500 m con localidades mayores a 2,500 habitantes, según lo indica la Norma. El mapa índice de este factor se observa en la **figura**

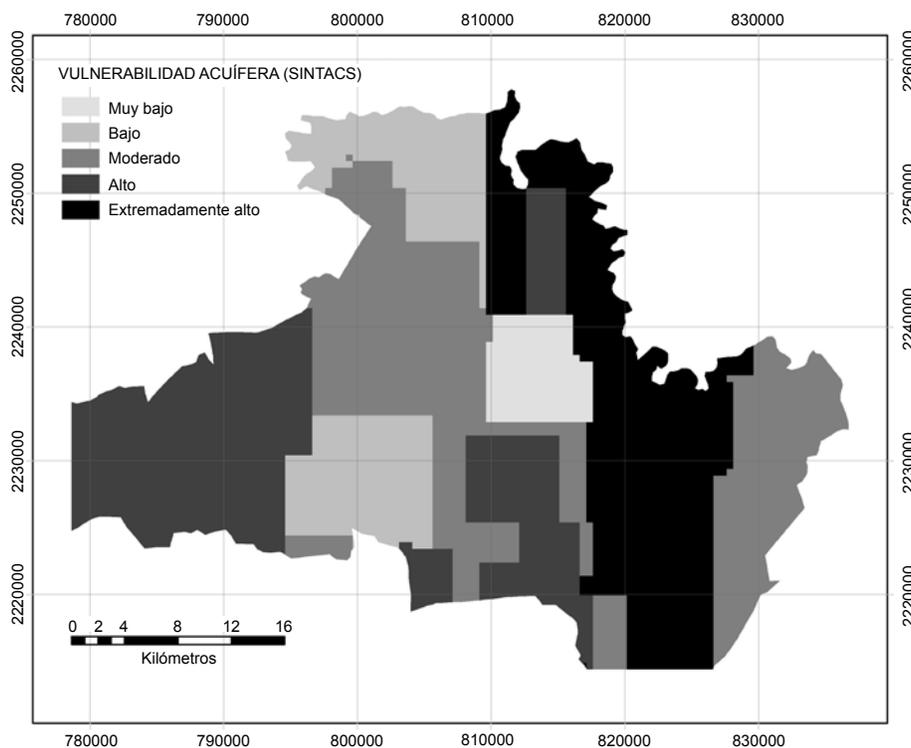


Fig. 2. Índices de vulnerabilidad acuífera SINTACS

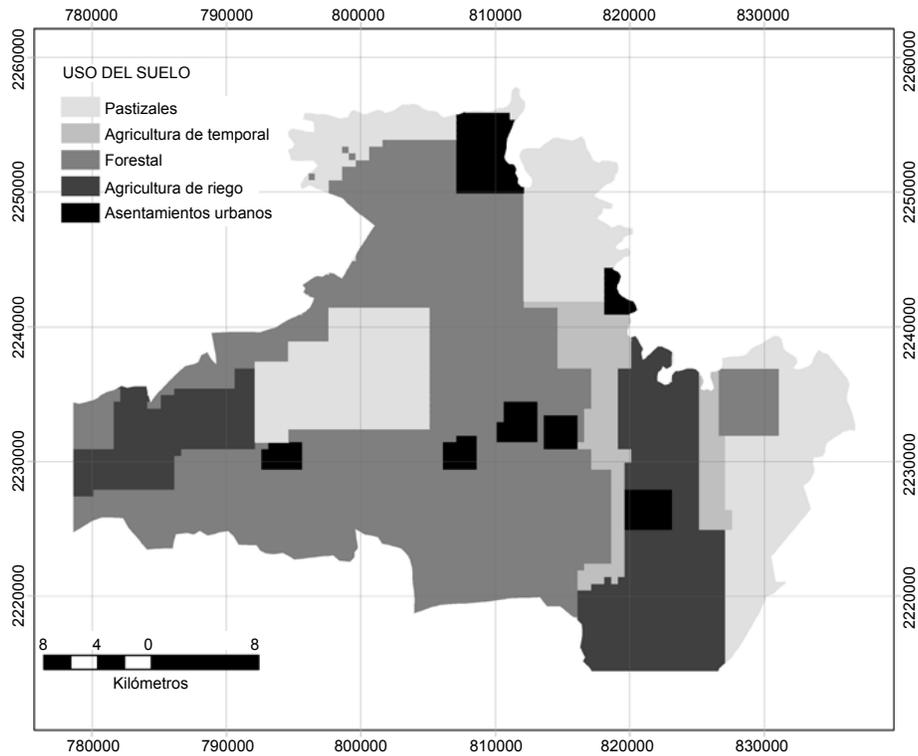


Fig. 3. Índice del uso de suelo

3, donde se delimitan claramente áreas urbanas como son las cabeceras municipales.

### Fracturamiento

Se obtuvo la distribución regional de la red de fracturamiento, variando la misma entre 0.2 y 3.2 km km<sup>-2</sup>. La mayor concentración de fracturas coincide con zonas donde se localizan las principales elevaciones volcánicas, siendo el cerro Zináparo y el Grande los que registran el valor más alto (3.2 km km<sup>-2</sup>), asignándole el rango de extremadamente alto; de igual forma, la zona a lo largo del graben de Penjamillo se encuentra con un grado muy alto de fracturamiento (2.5 a 3.0 km km<sup>-2</sup>).

Los rangos definidos para este caso son: Extremadamente alto >3.0 km km<sup>-2</sup>; Muy alto 2.5-3.0 km km<sup>-2</sup>; Alto 2-2.5 km km<sup>-2</sup>; Medio 1.5-2 km km<sup>-2</sup>; Bajo 1-1.5 km km<sup>-2</sup> y Muy bajo <1 km km<sup>-2</sup>. En forma general la zona presenta un estado de fracturamiento medio (Fig. 4).

### Infraestructura

Se tomaron en cuenta los siguientes elementos: ductos de PEMEX, carreteras federales y estatales, caminos rurales y líneas de alta tensión con sus dominios de influencia referidos al eje en distancias de

500 m para ductos de PEMEX, 250 m para carreteras federales y estatales, 100 m para caminos rurales, 250 m para líneas de alta tensión, vías de ferrocarril y drenes, para pistas aéreas y zonas arqueológicas 13 km.

En la figura 5, se observa la distribución de valores para este parámetro, destacando que un alto porcentaje de la zona presenta restricciones por la presencia de algún tipo de infraestructura, en especial la zona norte con el valor máximo de 20, correlacionado a la existencia de un gasoducto.

### Zonas de inundación

Las zonas inundables son aquellas normalmente secas que quedan sumergidas temporalmente, como consecuencia de una aportación inusual de agua superior a la que es habitual para esa región. La región es potencialmente susceptible a estos fenómenos, como quedó demostrado en el año 2004, cuando la porción baja del graben de Penjamillo se inundó, producto de avenidas extraordinarias del río Lerma.

En la figura 6 se destaca la zona oriental que ocupa el graben de Penjamillo y la porción occidental que corresponde al valle de Ecuandureo, como las más sensibles a sufrir inundaciones, registrando en nuestra escala de valores hasta 20 puntos.

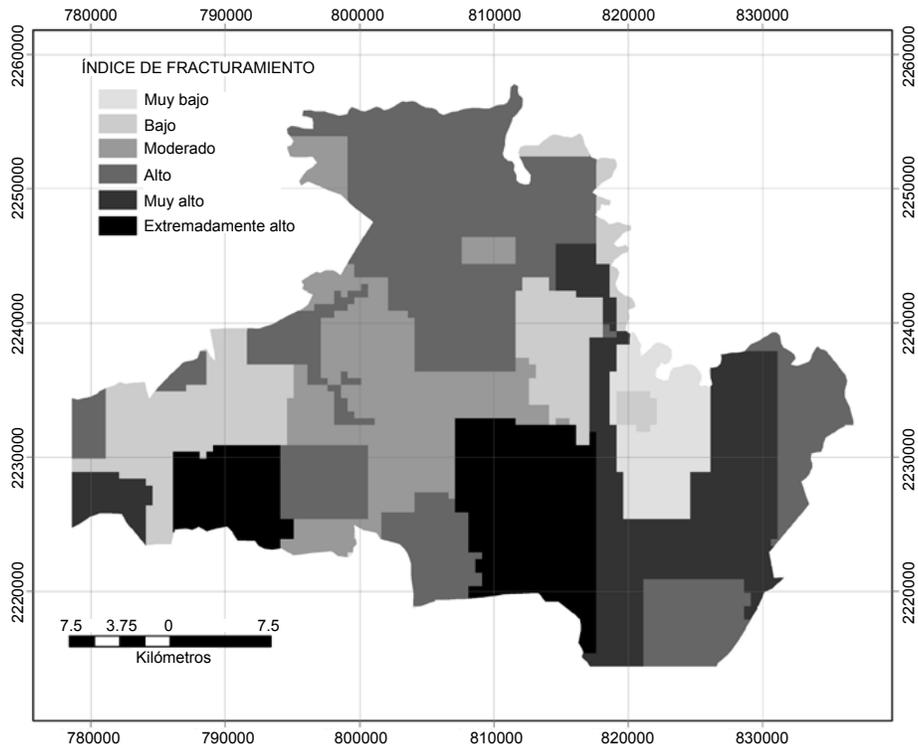


Fig. 4. Índice de fracturamiento

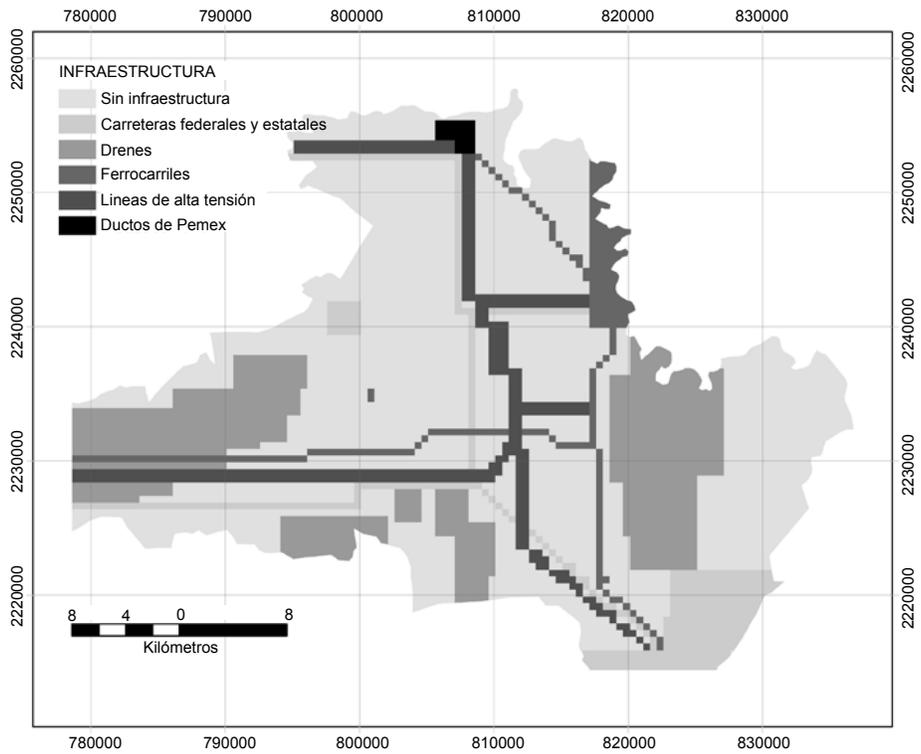


Fig. 5. Índice de infraestructura

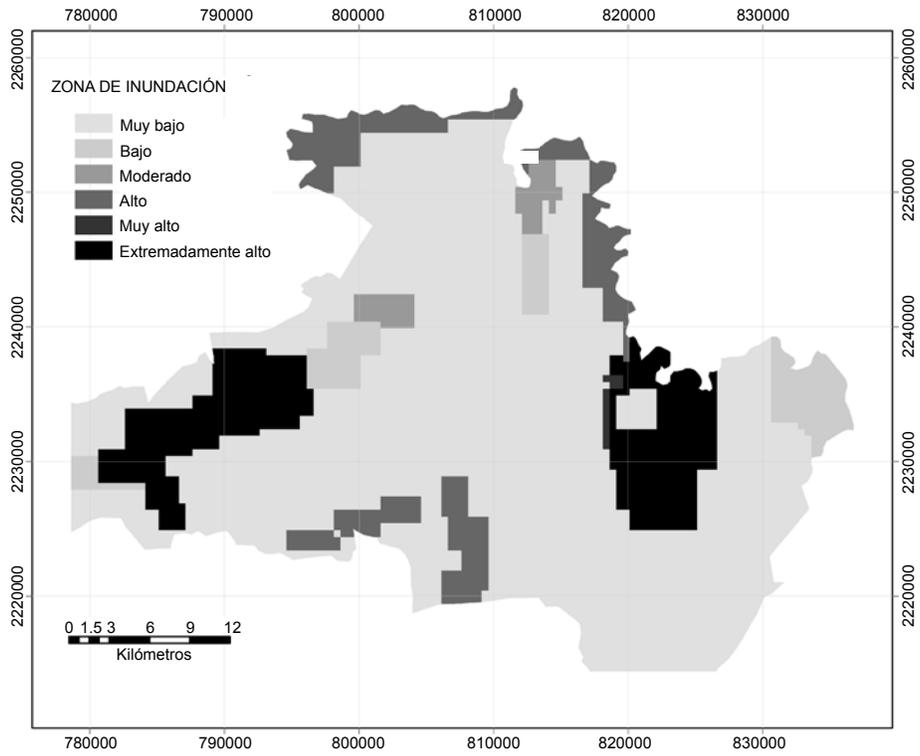


Fig. 6. Índice de zonas de inundación

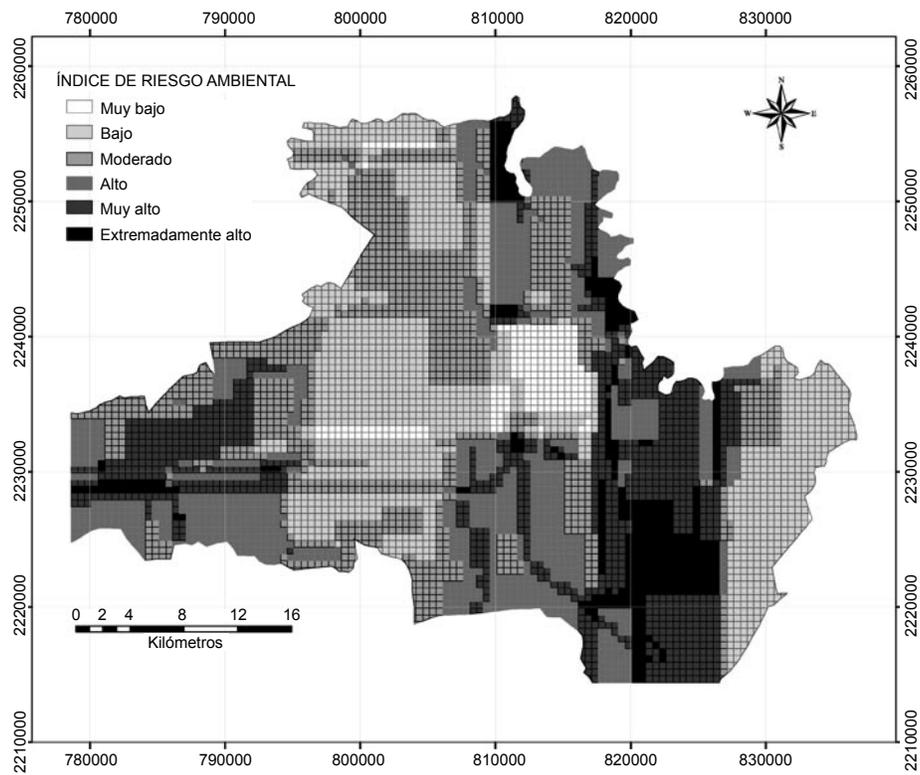


Fig. 7. Índice de Riesgo Ambiental (IRA)

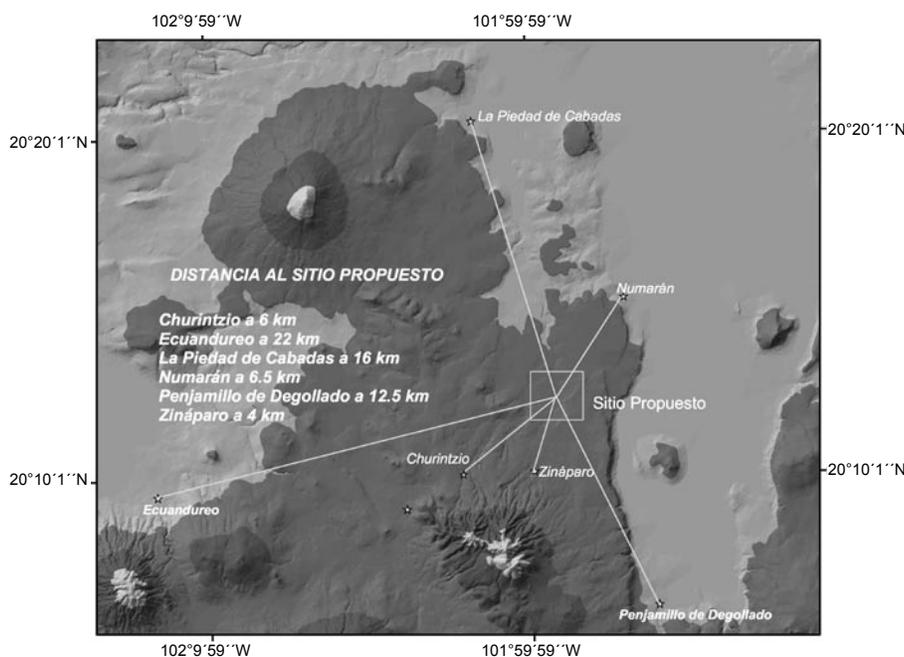


Fig. 8. Ubicación del sitio seleccionado en función del IRA

**Índice de riesgo ambiental (IRA)**

Finalmente, para la obtención del IRA se procede a la suma aritmética de cada uno de los índices obtenidos para cada factor, generando cuadrantes con valores únicos, los cuales estarán en intervalos de 16 puntos como mínimo a 160 como máximo. Los índices altos representarán un elevado riesgo ambiental. En la figura 7 se muestra el mapa de Índice de riesgo ambiental (IRA).

Para el IRA se proponen seis categorías de riesgo ambiental (Cuadro II) cuyos criterios de puntuación se basaron en la metodología de vulnerabilidad de Civita y De Maio (2000).

El Nivel 1 es de perfil “muy bajo”, son sitios adecuados y seguros para las obras que se pretendan realizar, lo que significa que las zonas con este rango

son poco susceptibles a ser afectadas, con base en los factores tomados en cuenta para determinar el IRA.

El Nivel 2 se consideró como “Bajo”; es decir, que estas zonas son poco susceptibles o tienen un impacto ambiental bajo, de este modo la localización de un sitio para la disposición final de residuos sólidos tendrá condiciones de seguridad aceptables.

El Nivel 3 es considerado como “moderado”, a diferencia de los dos anteriores, ya representa un riesgo mayor al ambiente; por lo cual, estas zonas estarían sujetas o condicionadas a seguir esquemas rígidos de seguridad ambiental.

El Nivel 4, representa un grado de riesgo ambiental alto y se puede dañar fácilmente el equilibrio, debido a que las condiciones en estos sitios son muy sensibles, como son el alto grado de fracturamiento, la cercanía a localidades o a zonas naturales protegidas, cercanía a ductos o instalaciones de PEMEX; por lo tanto, a partir de este nivel se requiere la aplicación de obras civiles específicas para la atenuación de impactos.

Los Niveles 5 y 6, no son adecuados para situar un área para la disposición final de RSU, ya que el impacto ambiental que se pueda generar sería irreversible; sin embargo, un sitio con un nivel de riesgo 1 y 2 y aún el 3, serían sitios adecuados para ubicar un proyecto de manejo integral de RSU a 25 años, que involucre áreas administrativas, de separación, compostaje y sepultamiento para una generación diaria de 100 ton día<sup>-1</sup>

**CUADRO II. CATEGORÍAS Y RANGOS APLICADOS AL IRA**

Índices de Riesgo ambiental, sus categorías y rangos aplicados

Índice de Riesgo Ambiental (IRA)	Categoría	Rango
Nivel 1	Muy bajo	16-40
Nivel 2	Bajo	41-65
Nivel 3	Moderado	66-90
Nivel 4	Alto	91-115
Nivel 5	Muy alto	116-140
Nivel 6	Extremadamente alto	141-160

Partiendo de lo anterior, se puede definir que el área con mayores posibilidades para disponer de los RSU se localiza en la porción central de la región. Para asegurar esto se procedió a verificarlo en campo y se corroboró su aptitud para el proyecto. El lugar (**Fig. 8**) presenta adicionalmente las siguientes ventajas: mínimo impacto visual y muy próximo (12 km) a la localidad de mayor generación de residuos (La Piedad, con 75 ton día<sup>-1</sup>), quedando el poblado más lejano a 22 km (Ecuandureo) y el más cercano a 4 km (Zináparo), contando además con buenos accesos.

Es importante resaltar que por ser ésta una región de riesgo sísmico, cualquier obra que se diseñe deberá de considerar en su proyecto factores de seguridad sísmica.

### CONCLUSIONES

El método ofrece la ventaja de ahorrar tiempo de exploración, al obtenerse un panorama regional discretizado, integrando al mismo aquellos factores mencionados en la normatividad oficial, así como un elemento hidrogeológico de suma importancia como lo es la vulnerabilidad acuífera.

La metodología planteada permite ser extrapolada a otros municipios y escenarios, pudiendo involucrar variables socioeconómicos como el costo de transporte de los RSU para cada municipio. Lo anterior, enriquecería cada vez más la propuesta.

Los resultados alcanzados son una primera aproximación en la determinación de áreas de manera rápida, eficiente y ambientalmente segura para albergar un proyecto de manejo integral de RSU. Éste deberá complementarse con la evaluación final en campo de cada sitio definido como viable, a efecto de tomar la decisión definitiva.

### AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se realizó gracias al financiamiento otorgado por el Fondos Mixtos CONACyT-Gobierno del Estado de Michoacán, IPN, así como por los H. ayuntamientos de Zináparo, Numaran, Penjamillo, Ecuandureo, Churintzio y La Piedad, del estado de Michoacán.

### REFERENCIAS

- Bosque S.J., Gómez D.M., Rodríguez E.V., Díaz M.M.A., Rodríguez D.A.E. y Vela G.A. (1999). Localización de centros de tratamiento de residuos: una propuesta metodológica basada en un SIG. *Ann. Geo. Univ. Complutense*. 19, 295-323.
- Buenrostro O. y Israde I. (2003). La gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del Lago de Cuitzeo, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 19, 161-169.
- Civita M. y De Maio M. (2000). Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5. Pitágoras Editrice, Bologna, 248p.
- García E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Ed. Ind. México, 220p.
- Hasenaka T. y Carmichael I.S.E. (1985). A compilation of location size and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacán-Guanajuato volcanic field central Mexico. *Geofis. Int.* 24, 577-608.
- Mena F.C., Fajardo V.J. y Ormazábal R.Y. (2006). Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. *Rev. Fac. Ing. Univ. Tarapacá*. 14, 81-89.
- Norma Oficial Mexicana (2003). NOM-083-SEMARNAT. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. *Diario Oficial de la Federación*. 20 de octubre. México, D. F.
- Pardo M. y Suárez G. (1995). Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: seismic and tectonic implication: *J. Geofis. Res.* 100, 12357-12373.
- Pérez L.M.E., Vicencio de la R.M.G., Alarcón H.M.T. y Vaca M.M. (2002). Influencia del basurero municipal en la calidad del agua de acuífero de la ciudad de Durango, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 18, 111-116.
- Villafuerte S.I., Flores O.D., Guadalupe G.E. y Zea A.M. (2004). Evaluación ambiental del relleno sanitario para el santuario histórico de Machu Picchu y pueblos aledaños. *Rev. Inst. Invest. FIGMMG*. 7, 54-63.