

## **Selección primaria de zonas para la construcción de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial Caso de estudio: Municipios del Estado de México**

Rodríguez Salinas Marcos Arturo<sup>1</sup>. Rebollar Platas Minerva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH*. Cooperación Técnica Alemana. Programa de Gestión Ambiental - Componente Gestión de Residuos Sólidos y Sitios Contaminados. Av. Gustavo Baz prada 2160 2º piso. Col. la Loma, 54060, Tlalnepantla, México. Tel. + 52 (55) 5366 8262 Fax. +52 (55) 5362 2247. e-mail: [marcos.rodriguez@gtz.org.mx](mailto:marcos.rodriguez@gtz.org.mx)

<sup>2</sup> Centro Interdisciplinario de Investigación y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional. Av. Miguel Othón de Mendizábal 485 Col. Nueva Industrial Vallejo C.P. 07700, México D.F. Delegación Gustavo A. Madero. Tel. (+52) (55) 5752-0818, 5586-9370, 5752-8512, 5752-8478. Fax: (+52) (55) 5586-0838.

### **RESUMEN**

El modelo para la selección adecuada de un sitio de disposición final de residuos sólidos que se presenta en este artículo ha sido desarrollado con base en el conjunto de las restricciones establecidas por la norma mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Su objetivo es el de crear un instrumento de apoyo para la planeación ambiental para apoyar la selección, en una primera etapa de estudios, de aquellas zonas que son aptas para la construcción de sitios de disposición final para residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

El estudio también se analiza cada uno de los elementos que conforman el sistema amplio de restricciones, las fuentes de información requeridas y establece un criterio para la clasificación de sitios con base en esta norma. A partir de esta información básica se genera un modelo de aplicación que procesa la información cartográfica con el fin de generar un sistema de información geográfica que permita determinar un conjunto de sitios que, en principio, no violentan ninguna restricción señalada en la norma, además de sitios que presentan algunas restricciones y otros en donde es necesario efectuar más estudios técnicos para determinar su situación potencial para ser utilizados como sitios para la disposición final de residuos sólidos. También se presenta un caso de aplicación en el Valle de Toluca, México.

Palabras Clave: Disposición Final, Restricciones de sitios para rellenos sanitarios, Residuos Sólidos Urbanos y Residuos de Manejo Especial

## ABSTRAC

The model for the adequate selection of a site for final disposition of Solid Waste (SW) that is shown in this paper has been developed on basis of the set of restrictions established by the Mexican norm NOM-083-SEMARNAT-2003. Its objective is create a environmental planning instrument to support the selection, in the first stage of study, about some adequate areas dedicated to construct final disposition sites for urban (SW) and special waste (industrial waste non-hazardous).

In this study is also analyzed each one of the elements that integrate the whole system of restrictions, the sources of information required and it is established criteria for classification of sites with basis of the Official Mexican Norm indicated. From this information is generated an application model that process the cartographic information in order to generate a GIS that allows to determine a set of areas that, in principle, not violating any restriction indicated in that norm, furthermore zones in which some restrictions appear and other ones where it is necessary to carry out more technical studies to determine its potential situation to be used as sites for SW final disposal. Also a case of application in the Valley of Toluca, México is shown.

Keywords: Landfill, Landfill Site Restrictions, Urban Solid Waste, Special Waste.

## Introducción

La dinámica actual en la sociedad ha generado una gran cantidad de materiales que ya no pueden ser aprovechados para el fin original con que fueron fabricados. Estos materiales llamados residuos se presentan en forma de gas, líquido o sólido y afectan al medio ambiente tanto natural como social, acumulándose y contaminándolo. Una parte de estos residuos, se les denomina como Residuos Sólidos Urbanos (RSU) los cuales, en México, su manejo es una atribución directa de los municipios de acuerdo a la Constitución Política del país y a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR). Esta ley se define a los RSU como:

“Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarías, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.”

En el marco de esta ley la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente y de la ley federal de normalización, se ha publicado la norma oficial mexicana “NOM – 083 – SEMARNAT – 2003, 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” (DOF 2004) que

tiene por objeto regular los sitios de disposición final para disminuir los impactos ambientales dañinos causados por éstos. La disposición final se define en esta norma como:

“Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos”

En las diferentes secciones de la norma se establecen los lineamientos a seguir en cada una de las etapas relacionadas con los sitios de disposición final. Para el presente estudio se utiliza la sección “6.1 Restricciones para la ubicación del sitio”. Para este fin, estas restricciones se han desagregado y organizado en un modelo que permite incorporar el uso de sistemas de información geográficos.

El presente estudio fue desarrollado dentro del marco del Proyecto de Apoyo a la Gestión de Residuos Sólidos SEGEM-GTZ y describe el modelo cartográfico que permite efectuar una primera selección de zonas aptas utilizando un sistema de información geográfica y los criterios incluidos en la norma mencionada para que sea un apoyo auxiliar en la selección de estrategias para la disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en el Estado de México.

El objetivo central de estudio es la elaboración de un modelo cartográfico de los municipios del Estado de México que determine zonas que cumplen con la norma en su sección 6.1 de tal forma tal que apoye la selección adecuada de sitios de disposición final en el Estado de México.

### **Estrategia Metodológica**

Para el desarrollo de este trabajo se aplicó una metodología recursiva de análisis – síntesis a partir de una desagregación de las características mencionadas en la norma y se indican cada una de las fuentes de información necesarias. También se selecciona con base en esta recopilación de información, las características de los elementos del sistema de información geográfica. Esta síntesis se encuentra enfocada a todas aquellas características comunes en cada uno de los elementos que conforman el sistema de información. El método propuesto para este proceso es retroalimentado. Las fuentes de información bibliográfica mediante un análisis generan un modelo esquemático. Este modelo se alimenta con la información geográfica y se genera el modelo cartográfico y el mismo se revisa y aplica como si fuera el modelo definitivo o final con el objetivo de encontrar sus posibles errores. Si se requiere, se vuelve a generar un modelo esquemático y un nuevo modelo cartográfico recursivamente hasta lograr obtener un mejor modelo. Finalmente, el modelo se valida con visitas de campo. Esta validación del modelo final se llevó a cabo en el municipio de Nicolás Romero, México.

Dentro de las fuentes de información geográfica se encuentran las cartas topográficas y geológicas del INEGI 1:50,000, el modelo cartográfico del Acuífero del Valle de Toluca proporcionado por la CONAGUA-GTZ, los modelos cartográficos de la coordinación de

proyectos especiales de la SMAGEM, el programa de ordenamiento ecológico y territorial del Estado de México proporcionado por la Dirección General de Ordenamiento e Impacto Ambiental de la SMAGEM, así como los planes de desarrollo urbano municipales. El procesamiento de la información se realizó con el software ArcView 3.2a © y Microsoft Excel 2003 ©.

## Restricciones para la ubicación del Sitio

La NOM-083-SEMARNAT-2003 en su sección 6.1 establece las restricciones que, además de las disposiciones legales vigentes, deberá cumplir cualquier sitio de disposición final sea del tipo A, B, C o D. Estas restricciones están numeradas del 1 al 7 y a continuación se presenta un listado de las mismas que incluye el texto integro de la norma, una definición, ya sea de la norma o de otra fuente y la clave usada en este estudio.

### Aeropuertos

*6.1.1 Cuando un sitio de disposición final se pretenda ubicar a una distancia menor de 13 kilómetros del centro de la(s) pista(s) de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto, la distancia elegida se determinará mediante un estudio de riesgo aviario.*

**Aeródromo de servicio al público:** Pistas para aterrizaje y despegue de aviones en uso.

**Aeropuerto:** Pistas pavimentadas para el aterrizaje y despegue de aviones, hangares y edificaciones.

**Estudio de riesgo aviario:** Muestra la dispersión alrededor del relleno sanitario de aves relacionadas con riesgos en aeropuertos.

### Áreas Naturales Protegidas

*6.1.2 No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en el Plan de manejo de éstas.*

**Áreas naturales protegidas:** Zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del hombre, y que han quedado sujetas al régimen de protección. (NOM – 083, LGEEPA)

### Zonas Urbanas

*6.1.3 En localidades mayores de 2500 habitantes, el límite del sitio de disposición final debe estar a una distancia mínima de 500 m (quinientos metros) contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano.*

**Traza urbana:** Conjunto de las vialidades de una población. Los límites son difusos en la mayoría de los casos y dependen de la delimitación de los predios, así como del grado de urbanización.

**Plan de Desarrollo Urbano:** En el Estado de México se establecen las zonas denominadas:

**Área Urbana**, que comprende toda la población existente es el límite de la traza urbana actual definido legalmente.

**Área Urbanizable**, es el área en donde se puede construir y representa el área del crecimiento de la población.

La norma establece una restricción de 500 m, a ésta, se le asignó la clave de 6.1.3R, con el objeto de separarla de la zona urbana consolidada y aquella programada.

### **Zonas especiales**

*6.1.4 No debe ubicarse en zonas de: marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas.*

#### 6.1.4a1 Marismas.

**Marismas:** Terreno bajo y pantanoso que inundan las aguas del mar, por las mareas y sus sobrantes, o por el encuentro de aguas de mar con las de los ríos en su desembocadura. (NOM – 083). No aplica para el Estado de México.

#### 6.1.4a2 Manglares.

**Manglar:** Tipo de sociedades vegetales permanentemente verdes, tropicales, de tronco corto, que se desarrollan en depresiones de las costas marinas en la zona de mareas, pero protegidas del oleaje, en bahías, lagunas o esteros. (NOM – 083). No aplica para el Estado de México.

#### 6.1.4a3 Esteros.

**Estero:** El depósito natural de aguas nacionales delimitado por la cota de la creciente máxima ordinaria. (NOM – 083).

No aplica para el Estado de México.

#### 6.1.4a4 Pantanos.

**Pantano:** Hondonada en donde se recogen y se detienen las aguas y que presenta un fondo más o menos cenagoso. (NOM – 083).

#### 6.1.4a5 Humedales

**Humedal:** Cuerpo de agua poco profundo con metabolismo aerobio principalmente. Se localizan en las orillas de los cuerpos y corrientes de agua. Son indispensables para la depuración del agua.

Los humedales están comprendidos en las zonas de inundación y la restricción de 500 m en cuerpos y corrientes de agua en la mayoría de los casos. Muchos lagos presentan en todo el cuerpo de agua este tipo de ecosistema que desplaza al ecosistema del lago como parte de un proceso natural para integrar el lago al ecosistema terrestre clímax. En muchos casos los humedales resultan contrarios con la política de preservación del cuerpo de agua.

#### 6.1.4a6 Estuarios

**Estuarios:** Es la sección de la desembocadura de los ríos en donde el mar se adentra en el cuerpo de agua dulce formando una laguna salobre. Estas estructuras varían de acuerdo a la marea. No aplica para el Estado de México.

#### 6.1.4b1 Planicies Aluviales

**Planicies Aluviales:** Son las llanuras que están cubiertas por aluvión que es un material no consolidado, se clasifica como una roca sedimentaria no cementada. Se origina por la sedimentación de deslaves, las crecidas en ríos y avenidas.

#### 6.1.4b2 Fluviales.

**Valle Fluviales:** Aquellos terrenos bajos aledaños a las corrientes de agua que se ven afectados por éstas.

Un término más adecuado para describir el fenómeno es el de “llanuras de inundación” que se refiere al proceso de erosión – sedimentación ocasionado por un río que se desborda frecuentemente antes de formar los bordes del canal.

#### 6.1.4c Recarga de Acuíferos

**Zonas de Recarga de Acuíferos:** Son aquellos terrenos donde el agua accede al acuífero. El agua se puede infiltrar directamente sobre el terreno y acceder a la zona de aireación del acuífero. En acuíferos confinados las zonas de recarga se encuentran en las montañas donde las diferentes estructuras geológicas permiten el acceso al acuífero. Existen también los denominados sumideros.

#### 6.1.4d1 Cavernas

**Caverna:** Cueva muy grande o sistema de cuevas.

**Cueva:** Apertura natural en el subsuelo conectada con la superficie, lo suficientemente grande para que acceda una persona a ella. También se les llama grutas.

#### 6.1.4d2 Fracturas

**Fracturas:** Deformaciones de las estructuras geológicas que han cedido a las fuerzas y presentan discontinuidades no plásticas, también se les conoce como “juntas”. A diferencia de las fallas en las fracturas no hay desplazamiento.

#### 6.1.4d3 Fallas

**Fallas:** Discontinuidades geológicas en donde los bloques se han desplazado, formando un plano de la falla. Dependiendo del ángulo de la falla es como se le clasifica.

#### 6.1.4e Zonas Arqueológicas

**Zonas Arqueológicas:** Aquellas consideradas bajo esta clasificación por el Instituto Nacional de Antropología e Historia y decretadas en el Diario Oficial de la Federación.

## Zonas de inundación

6.1.5 *El sitio de disposición final se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final.*

La información en general se refiere a aquellos terrenos que se inundan regularmente en la época de la crecida sin información sobre el periodo de retorno.

## Cuerpos de Agua

6.1.6 *La distancia de ubicación del sitio de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 m (quinientos metros) como mínimo.*

### 6.1.6a Cuerpos de agua superficiales con caudal continuo.

**Ríos:** Cuerpos de agua superficiales con caudal continuo todo el año. También se les conoce como corrientes de agua superficiales.

**Canales:** Cuerpos de agua superficiales con caudal continuo todo el año que han sido modificados para actividades humanas. En muchos casos son ríos a los cuales se les ha modificado el cauce. Existen también canales intermitentes. A diferencia de los acueductos, los canales solo fluyen por acción de la gravedad y son conductos de sección abierta.

**Acueductos:** Obras de infraestructura que transportan el agua a grandes distancias con ayuda de sistemas de bombeo y la acción de la gravedad. En su mayoría son conductos de sección cerrada.

### 6.1.6.b Lagos

Lago: Cuerpo de agua permanente todo el año.

### 6.1.6.b Lagunas

**Laguna:** Cuerpo de agua permanente todo el año ubicado en el litoral. Normalmente salobre variable de acuerdo a la marea y la estación del año. No aplica para el Estado de México.

No está determinada la restricción a los acueductos, que puede ser por el derecho de vía. Los canales y acueductos se consideran como cuerpos de agua superficiales de caudal continuo y, en su caso, para los acueductos de sección circular revestidos con concreto, acero o algún material plástico podría disminuir la restricción. Para la restricción se emplean las claves 6.1.6aR, 6.1.6bR y 6.1.6cR respectivamente.

## Pozos

6.1.7 *La ubicación entre el límite del sitio de disposición final y cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación*

como abandonados, será de 100 metros adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento. Cuando no se pueda determinar el cono de abatimiento, la distancia al pozo no será menor de 500 metros.

**Pozos:** Obras de infraestructura que se utilizan para la extracción de agua del subsuelo a través de conductos con sección circular y con la aplicación de energía.

**Cono de abatimiento:** Depresión en el nivel freático debida a la proximidad de un pozo. Este cono depende del sistema de bombeo del pozo y varía de acuerdo a la época del año y la rapidez de la extracción.

Los manantiales también se consideran con una restricción de 500 m puesto que son fuentes de abastecimiento de agua. En muchas ocasiones la corriente que se genera es pequeña y se considera intermitente y, por tal motivo, no se incluye en la sección de corrientes de caudal continuo.

### Modelo Cartográfico de Selección Primaria de Zonas

El proceso de análisis-síntesis aplicado al conjunto de restricciones, así como la fuente de los datos del estudio tal como se presenta en la estrategia metodológica proporcionó un modelo con cuatro procesos para generar el resultado final con tres categorías. A continuación se describen con detalle cada uno de los elementos de este modelo.

#### Categorías de restricción

Las restricciones descritas por la NOM-083-SEMARNAT-2003 pueden agruparse en tres categorías dependiendo de la flexibilidad de dicha restricción, tres diferentes categorías en total apego a la norma. El conjunto de esta información son los datos que el modelo procesa para general la selección primaria de zonas. Una síntesis de las restricciones se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Análisis de restricciones de la NOM – 083 – SEMARNAT – 2003.

| Clave    | Descripción                | Categoría* |
|----------|----------------------------|------------|
| 6.1.1    | Aeropuertos                | 2          |
| 6.1.2    | Áreas Naturales Protegidas | 2          |
| 6.1.3    | Traza urbana               | 1          |
| 6.1.3R   | 500 metros traza urbana    | 1          |
| 6.1.4a1  | Marismas                   | 1          |
| 6.1.4 a2 | Manglares                  | 1          |
| 6.1.4 a3 | Esteros                    | 1          |
| 6.1.4 a4 | Pantanos                   | 1          |
| 6.1.4 a5 | Humedales                  | 1          |
| 6.1.4 a6 | Estuarios                  | 1          |
| 6.1.4b1  | Planicies Aluviales        | 1          |
| 6.1.4b2  | Fluviales                  | 1          |
| 6.1.4c   | Recarga de Acuíferos       | 1          |

|         |                                 |   |
|---------|---------------------------------|---|
| 6.1.4d1 | Cavernas                        | 1 |
| 6.1.4d2 | Fracturas                       | 1 |
| 6.1.4d3 | Fallas                          | 1 |
| 6.1.4e  | Zonas Arqueológicas             | 1 |
| 6.1.5   | Zonas de inundación             | 2 |
| 6.1.6a  | Cuerpos de Agua Caudal Continuo | 1 |
| 6.1.6aR | 500 metros a CACC               | 1 |
| 6.1.6b  | Lagos                           | 1 |
| 6.1.6bR | 500 metros a Lagos              | 1 |
| 6.1.6c  | Lagunas                         | 1 |
| 6.1.6cR | 500 metros a Lagunas            | 1 |
| 6.1.7   | 500 metros a Pozos              | 2 |

\* 1: Totalmente restrictivas. 2: Puede cambiarse la restricción con un estudio adicional.

### **Sin restricción, categoría 00 (0)**

Estas zonas en principio no tienen restricción aunque es necesario realizar más estudios puntuales ya que no existe la certeza de que un predio en este tipo de zonas no presente algunas características que dificulten el desarrollo de un proyecto de disposición final.

### **Totalmente Restrictivas, categoría 01 (1)**

En esta categoría se incluyen todos y cada uno de los elementos que no ofrecen una alternativa para el cambio de la restricción. También se incluyen los que tienen alternativas técnicas para modificar su restricción pero que no han sido aplicados ampliamente a nivel nacional.

### **Estudios Adicionales, categoría 10 (2)**

La categoría de estudios adicionales presente en la sección 6.1 se incluye para cinco elementos y modifica las restricciones sobre el terreno. La Tabla 2 enlista las restricciones y los estudios que permiten su modificación.

**Tabla 2.** Restricciones que se pueden modificar con la elaboración de estudios adicionales.

| <b>Restricción</b>     | <b>Estudio</b>                        |
|------------------------|---------------------------------------|
| Aeropuertos 13 km      | Estudio de riesgo aviario             |
| Área Natural Protegida | Plan de Manejo                        |
| Zonas Urbanas          | Plan de Desarrollo Urbano             |
| Zonas de inundación    | Flujo de agua                         |
| Pozos (500 m)          | Determinación del cono de abatimiento |

### **Procesos de la información**

La información descrita en el párrafo anterior se procesa de acuerdo a las operaciones que a continuación se enlistan y están definidas en función de las características de la

información y el software empleado. Los procesos pueden realizarse en formato vectorial o mapa de bits (raster). Sin embargo, para el presente estudio se prefirió el formato raster debido al tipo de software empleado.

### **Envoltura**

Este proceso calcula todos los puntos aledaños a un elemento geográfico que cumplen con el criterio de distancia menor o igual. La distancia es euclidiana y para elementos de polígono no se incluye todo lo que pueda estar dentro del polígono. Este proceso genera un elemento de área y está descrito por un polígono y solo se aplica a 6 elementos que son: aeropuertos, traza urbana, cuerpos de agua de caudal continuo, lagos, lagunas y pozos. Los pozos y aeropuertos y sus restricciones respectivas se consideran como un solo elemento, no así los otros cuatro que se consideran como dos elementos cada uno.

### **Unión**

Se refiere a la operación lógica representada por la “O inclusiva”. Esta unión elimina la diferenciación entre los elementos que pertenecen a la misma categoría, esto es, una síntesis. Todos los elementos están sujetos a este proceso y se generan tres nuevos elementos denominados “Zona 01” y “Zona 10” los números son en sistema binario y representan respectivamente 1 y 2. Cada una de las “Zonas” corresponde a cada una de las categorías.

### **Suma**

Este proceso se aplica a las “Zonas” para generar un elemento intermedio denominado “Zona 11” que incluye todo el espacio geográfico y clasifica el territorio de acuerdo al tipo de restricciones. El proceso genera 4 tipos diferentes que corresponden a las combinaciones de las categorías.

### **Clasificación**

Este proceso resulta necesario para eliminar la diferenciación que existe en las zonas totalmente restrictivas. Una zona identificada con un número igual o mayor de 2, significa que existe algún elemento totalmente restrictivo, aunque existan otros elementos que puedan modificarse con estudios. La existencia de este elemento impide que sea considerado como una primera opción. La clasificación asigna el valor de 1 a las zonas con valores de 3.

### **Síntesis del modelo**

La Tabla 1 presenta una síntesis de las restricciones que se aplican en el modelo cartográfico de selección primarias de zonas de acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003 indicando la categoría asignada. Hay que resaltar que los elementos identificados con “R” son derivados de otros elementos a través del proceso de envoltura ya descrito.

## Validación del Modelo

La validación del modelo se realizó en el municipio de Nicolás Romero. Este proceso consistió en un recorrido realizado en las diferentes zonas identificadas en la selección primaria. El recorrido fue realizado por el Director de Servicios Públicos, la Directora de Ecología, dos representantes del sector público que son especialistas en sitios de disposición final y por el autor del estudio. De dicho recorrido y análisis se concluyó:

- El modelo cartográfico es una excelente herramienta para la búsqueda de opciones en la disposición final, dado que reduce el territorio y ofrece información confiable para llevar a cabo la toma de decisiones.
- El modelo cartográfico debe incluir las restricciones del tipo federal así como la información que permita delimitar la ruta de acceso.
- Adicionalmente, se debe de elaborar un análisis que permita identificar aspectos sociales y financieros aunque ello pudiera salir de los objetivos del estudio.

En la selección inicial de predios para la disposición final en este municipio se presentaron 6 opciones, de las cuales una corresponde al antiguo sitio no controlado del municipio, otra era la opción presentada en el plan de desarrollo urbano en 1998 y las cuatro restantes fueron obtenidas a partir de la selección primaria de zonas para realizar la disposición final.

## Cartografía

El estudio se basa en la información geográfica nacional generada a una escala de 1:50,000 debido a su disponibilidad en el territorio mexiquense y, en general, para toda la república mexicana. Los diferentes elementos necesarios para el estudio se reportan en las denominadas cartas topográficas y geológicas y también son necesarios los estudios de ordenamiento del territorio, de cuencas y planes de desarrollo urbano. De acuerdo a la información base, se definieron las características geográficas del sistema de información como se muestra la Tabla 3.

**Tabla 3.** Características del Sistema de información Geográfica (Franco MS 1998).

| <b>Propiedad</b>       | <b>Valor</b> |
|------------------------|--------------|
| Escala                 | 1:50,000     |
| Área geográfica mínima | 85 x 85 m    |
| Tamaño del punto       | 20 x 20 m    |
| Curvas de Nivel        | cada 20 m    |

## Valle de Toluca

La cartografía que se presenta a continuación se basó en el estudio del Acuífero del Valle de Toluca, desarrollado en el proyecto de “Manejo Integral del Agua: Río Lerma y Río

Balsas” realizado por la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ) junto con la Comisión Nacional de Agua (CNA) y el apoyo de la Coordinación de Estudios y Proyectos Especiales de la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México. La delimitación del área de estudio corresponde a la poligonal del acuífero definido en dicho estudio. Incluye los municipios de: Lerma, Xonacatlán, Almoloya del Río, Calimaya, San Antonio la Isla, Texcalyacac, Metepec, Villa Victoria, Ocoyoacac, Temoaya, San Mateo Atenco, Otzolotepec, Atizapán, Capulhuac, Rayón, Toluca, Mexicaltzingo, Ixtlahuaca, Jiquipilco, Jalatlaco, Tenango del Valle, Tianguistenco, Almoloya de Juárez, Zinacantepec, Chapultepec, Joquicingo. La validación de la información cartográfica estuvo a cargo del estudio del Acuífero.

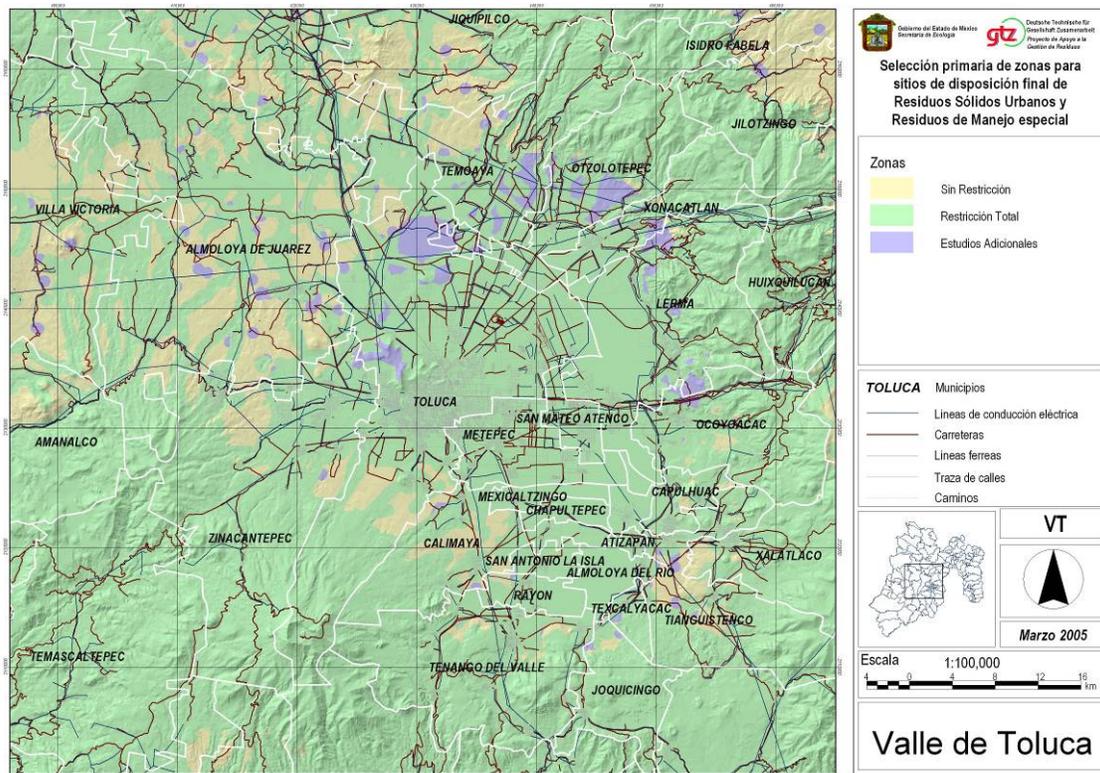


Figura 1. Modelo Cartográfico de Selección primaria para el Valle de Toluca

## CONCLUSIONES

La aplicación del modelo propuesto permite efectuar una identificación primaria de zonas para la construcción de sitios aptos para la disposición final de residuos, lo que hace innecesario hacer la búsqueda en todo el territorio, una opción más sencilla y menos costosa que realizar un procedimiento de verificación punto por punto en el terreno, con el gasto asociado puede ser sustituido por un análisis del tipo que el presente estudio propone.

Esta selección debe ser complementada con diversos estudios y reduce el territorio que se debe de cubrir para la búsqueda de un sitio para la disposición final de residuos.

En general, la información se encuentra disponible para todo el Estado de México en un formato accesible. Sin embargo, un punto crítico es la determinación de las zonas para la recarga del acuífero; estos estudios resultan muy complejos y generalmente no se cuenta con ellos o se encuentran incompletos. La información contenida en la cartografía digital del INEGI es la fuente principal para este modelo; sin embargo, hay que destacar que para la determinación de los límites municipales y las áreas urbanizables solo el plan de desarrollo urbano o algo similar es lo más adecuado.

El empleo de este método en la búsqueda de sitios para proponer una solución final presenta la desventaja de no poseer la tecnología requerida para este fin. Muchos municipios no cuentan con los recursos para acceder a dicha tecnología en función de la relación costo/beneficio. Sin embargo, algunas instituciones académicas como el Centro Interdisciplinario de Investigación y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD-IPN) o gubernamentales como la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM), poseen la capacidad tecnológica para prestar este tipo de servicios.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Bosque-Sendra J, Escobar FJ, García E, Salado MJ. Sistemas de información geográfica: practicas con PC ARC/INFO e IDRISI. Madrid; ediciones Ra-Ma; 1994.

Bosque-Sendra J. Sistemas de Información Geográfica. Madrid: Rialp; 1992.

Diario Oficial de la Federación (DOF). NORMA Oficial Mexicana NOM – 083 – SEMARNAT – 2003, 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. México; Diario Oficial de la Federación; 20/10/2004.

Franco MS. Metodología para la localización de centros integrales par la gestión de desechos industriales peligrosos (tesis doctoral). España: Universidad de Alcalá de Henares; 1998.

Hernández-Barrios CP, Wehenpohl G, Sánchez-Gómez J. Guía para el desarrollo, presentación y evaluación de proyectos ejecutivos para rellenos sanitarios. México. Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México – Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ); 2003.

Lee J. Wong DWS. Stastical Analisis with ArcView GIS. New York: John Wiley & Sons; 2001.

Lichfield N, Kettle P, Whitbread M. Evaluation in the planning process. Oxford: Pergamon press; 1975.



Wincander R, Monroe JS. Fundamentos de Geología. México: Thomson editores; 2000.