

ANÁLISIS LOCACIONAL DE LOS YACIMIENTOS PÉTREOS PARA LA PLANEACIÓN TERRITORIAL DE INFRAESTRUCTURA: EL CASO DE LA RED PAVIMENTADA DE VERACRUZ, MÉXICO

LOCATIONAL ANALYSIS OF QUARRIES FOR THE SPATIAL PLANNING OF INFRASTRUCTURE: THE CASE OF THE PAVED HIGHWAY NETWORK OF VERACRUZ STATE, MEXICO

Fecha de recepción: 4 de junio de 2013

Fecha de aprobación: 22 de julio de 2013

Geog. Armando Martínez Santiago
Unidad GITS, IG-UNAM, México.
arms_mtz@yahoo.com.mx

M. en I. Héctor Daniel Reséndiz López
Instituto de Geografía, UNAM, México.
hresendiz@hotmail.com

Geog. René Cruz López
Unidad GITS, IG-UNAM, México.
reuel_geo@hotmail.com

Dr. Luis Chías Becerril
Instituto de Geografía, UNAM, México.
lchias@yahoo.com

RESUMEN

La finalidad de este trabajo es destacar la importancia de la planeación territorial para el aprovechamiento sustentable de los yacimientos pétreos con que cuenta el estado de Veracruz, el cual ocupa el primer lugar a nivel nacional de acuerdo con el Inventario Nacional de Bancos de Materiales¹ (INBM) 2011/2012 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Los bancos de materiales son aquellos yacimientos geológicos de materiales indispensables para la construcción, mantenimiento y modernización de la infraestructura básica: comunicaciones, transportes, hidráulica y eléctrica, infraestructura social: instalaciones para suministrar servicios a la población y habitacional, e infraestructura: productiva obras destinadas a la producción y comercialización de bienes y servicios.

PALABRAS CLAVE: Infraestructura, carretera, análisis locacional, yacimiento pétreo, análisis espacial.

ABSTRACT

The aim of the present work is to highlight the importance of territorial planning in the sustainable use of the stone deposits located in the state of Veracruz, ranked first at the national level according to the National Inventory of Raw Material Deposits (NIRMD) 2011/2012 of the Secretariat of Communications and Transport (SCT). Raw material deposits are geological deposits of materials essential for the construction, maintenance and modernization of the basic infrastructure communications, transport, electrical and hydraulic, social infrastructure facilities to supply services and housing, and productive infrastructure work aimed at the production and marketing of goods and services

KEY WORDS: Road, infrastructure, locational analysis, stone deposits, spatial analysis.

INTRODUCCIÓN

En México, el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave cuenta con una superficie territorial continental de 71,820.4 km² (INEGI, 2013) que equivale al 3,7% del territorio nacional, por lo que ocupa el 11^o lugar en extensión. Veracruz posee una configuración geográfica particular que demanda una planeación estratégica territorial para explotar, de manera organizada y sustentable, sus yacimientos pétreos para la construcción, modernización y conservación de la infraestructura carretera.

Los materiales pétreos son rocas que se toman de la corteza terrestre, los cuales, para ser usados requieren básicamente adquirir la forma adecuada. Por su composición química y proceso de formación, se clasifican en dos grupos. Las rocas tienen origen interno si derivan de la acción de fuerzas endógenas, y son de procedencia externas cuando son producto de la erosión, transportación y sedimentación de rocas y otros materiales.

Las rocas también se clasifican en función de dos características, de acuerdo con su resistencia a la compresión (clases A, B, C, D y E) y según su origen geológico (ígneas, sedimentarias y metamórficas) Crespo, S. 2010. Para el caso de los 333 yacimientos pétreos reportados en el inventario de Veracruz, 266 (79,9%) son de materiales pétreos sedimentarios, 65 (19,5%) tienen origen ígneo, y sólo 2 (0,6%) son metamórficos.

Respecto al tipo y volumen de material, 124 (37,2%) yacimientos son de grava y arena; mismos que concentran el 22,8% del volumen estimado, 29 (8,7%) son de basalto (15,5% del volumen). En tercer lugar, los conglomerados están presentes

¹ En México los yacimientos de materiales pétreos se denominan "bancos de materiales". En este documento, el término se sustituye por "yacimientos pétreos" por su uso habitual en los países de Latinoamérica.

en 72 (21,6%) depósitos que equivalen al 15,1% del volumen, 25 (7,5%) yacimientos son de tezontle (13,3% del volumen). Las calizas se ubican en 26 (7,8%) depósitos (12,2% del volumen), y de andesita se reportan 7 (2,1%) yacimientos con el 10,6% del volumen estimado.

Si se considera que uno de los costos más importantes para la construcción y mantenimiento de las vías terrestres corresponde a la provisión de los materiales pétreos; el inventario geográfico e identificación de las localizaciones óptimas de los yacimientos de extracción que ofrecen las mejores ventajas comparativas representa un aspecto clave para disminuir los costos de construcción y operación de las obras. En este sentido, los elementos básicos que deben contemplarse son los siguientes:

- Calidad, volumen y variedad de los materiales.
- Accesibilidad al yacimiento pétreo.
- Impacto ambiental del aprovechamiento.
- Distancia de acarreo.
- Procesamiento requerido.
- Beneficios locales y regionales del yacimiento.

La fuente de información empleada para el presente estudio, fue el Inventario Nacional de Bancos de Materiales 2011/2012, publicado por la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST, 2012), y georreferenciados por Geotecnología Inteligente en Transporte y Sustentabilidad (GITS, 2012/13) en el marco del Proyecto Sistema de Información Geográfica de Carreteras de la Subsecretaría de Infraestructura (SIGC-SI) de la SCT.

Los datos del INBM se integraron en tablas estructuradas para normalizarse y espacializarse. Así, con los datos correspondientes al estado de Veracruz, se realizó un análisis estadístico y espacial para clasificar los yacimientos pétreos de acuerdo con las características reportadas.

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es correlacionar espacial y estadísticamente la infraestructura carretera existente, con el inventario de yacimientos pétreos. Entre los elementos de la infraestructura carretera considerados en el análisis; de administración federal y estatal, de peaje libre y de cuota, se encuentran los tramos carreteros pavimentados, vialidades suburbanas, libramientos y puentes. Para la infraestructura construida, la finalidad del trabajo es identificar y analizar la localización de

los yacimientos con materiales pétreos que demandan los trabajos de conservación, ampliación y modernización.

Asimismo, para la elaboración de los proyectos ejecutivos de infraestructura carretera, el estudio pretende poner de relieve las posibilidades que ofrece el Sistema de Información Geográfica de Carreteras, para hacer un análisis geoestadístico de los yacimientos y zonas con oferta de materiales pétreos que requieren las obras carreteras, así como su asociación con otros elementos geográficos. De acuerdo con lo anterior, los resultados destacan la necesidad, no sólo de generar datos de gran valor para las obras carreteras, sino también de integrarlos en un SIG corporativo que funcione como herramienta de soporte técnico, almacenamiento, análisis de datos y seguimiento a la gestión y administración del sector carretero.

METODOLOGÍA

La metodología de integración de datos consistió en transferir las estadísticas reportadas en archivos de Acrobat® a tablas de Excel®. Estos datos fueron normalizados, es decir, se estructuraron en matrices para la depuración, homologación, desagregación y validación, de los atributos y valores de todos los campos. Las variables que se reportan en el INBM son las siguientes: identificador del yacimiento pétreo, nombre de la carretera y del yacimiento, kilómetro de desviación hacia el depósito, fecha del estudio y de la actualización, tipo de propiedad y de material, requerimiento del uso de explosivos y de tratamientos, volumen estimado y su probable uso, espesor de despalme, existencia de restricciones ambientales y conveniencia económica.

Posteriormente, los valores y atributos de las variables cuantitativas y cualitativas se re-codificaron para jerarquizar cada yacimiento pétreo de acuerdo con los rangos y categorías definidos para calificar los aspectos valorados, asignando a las condiciones más favorables mayor puntuación y menor a las menos propicias. Para dar la importancia a cada aspecto, se definieron valores (pesos específicos) para ponderar las variables calificadas y así elaborar el Índice de Potencialidad (IPYP), que permite identificar que yacimientos ofrecen las mejores ventajas para su aprovechamiento óptimo y sustentable.

En cuanto a la georreferenciación de los yacimientos pétreos, estos se geoidentificaron con los datos de localización del INBM. En esta actividad se empleó el SIG ArcGis v. 10.1 para el manejo de la capa "Red Carretera Pavimentada" (RCP) del Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT-2008/09) del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y actualizada, con diferentes fuentes de información, por GITS (2012) del Instituto de Geografía (IGg) de la UNAM.

También se empleó la Carta Geológica de la República Mexicana del Instituto de Geología (IG) de la UNAM y Consejo de Recursos Minerales; actualizada y adaptada por el IGg (2007), así como la cobertura de Localidades Urbanas del Marco Geoestadístico 2010 v. 5.0 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La georreferenciación requirió de la fotoidentificación y fotointerpretación de imágenes de satélite de Google Maps®, Google Earth® 2013, Bing Maps® 2013, y del visualizador de carreteras y vialidades Street View. Respecto a la exactitud de la georreferenciación, cabe señalar que los yacimientos fueron clasificados en tres categorías en función de la precisión de georreferencia lograda con los datos de localización e insumos utilizados, las categorías son: 1) Ubicación exacta, 2) Ubicación muy aproximada y 3) Ubicación aproximada.

Para conocer la situación particular de la infraestructura carretera, se procesó la estadística agregada a nivel municipal del 2011, reportada por el Centro SCT Veracruz, del gobierno federal, y la Secretaría de Comunicaciones (Secom) del gobierno de Veracruz, y publicada por el INEGI (2013) en el Anuario Estadístico de Veracruz 2012. Adicionalmente, se consultaron datos contextuales como el Modelo Digital de Elevación (MDE), Población total, Flota vehicular y Valor Agregado Censal Bruto (VACB). El objetivo fue asociar estos datos para hacer análisis multivariante exploratorio, espacial y numérico, para generar productos de información geográfica y estadística; insumos valiosos para la gestión y administración de la infraestructura carretera en particular, y en la planeación y operación del desarrollo carretero en general.

DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En las tablas del INBM se reportan 2 791 yacimientos pétreos distribuidos en 31 Entidades Federativas, de las 32 en que se divide el territorio mexicano; para el caso del Distrito Federal no

se reportan datos. La participación porcentual de yacimientos por estado se muestra en la figura 3.1. En primer lugar, Veracruz concentra el 12% (333 yacimientos), en segunda posición, se ubica el estado de México con el 7,8% (218). Junto con Guanajuato (5,6%) y Chihuahua (5,3%) acumulan el 31% de los yacimientos pétreos del país. Esta capa se integró en el Portal Especializado en Transporte (PETRA) del SIGCSI-SCT para su consulta y manejo.

Contexto general de Veracruz

Veracruz se encuentra en la Mesorregión Sur-Sureste, la mayor parte de su territorio se ubica entre los 0 y los 200 metros sobre el nivel del mar (msnm), una zona de transición de 201 a 1 000 y una región montañosa que asciende de 1 001 a 4 000 msnm (figura 3.2). El relieve está conformado por llanuras (aluvial, costera, y con lomerío), lomeríos (típico, con llanura, de aluvión, y basalto), mesetas, y sierras (baja, alta, y volcánica). Por cantidad de población, se ubica en tercer lugar nacional con 7.6 millones de habitantes de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI (2011). Cuenta con 212 municipios (8,6%), tercer entidad con mayor número de municipios. En el plano económico, las cifras de los Censos Económicos 2009 del INEGI (2010), indican que el VACB de la industria manufacturera y de la minería posiciona a la entidad en cuarto lugar, y en segundo, por el VACB del sector Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final.

En infraestructura carretera, Veracruz ocupó en 2011 el primer lugar nacional en longitud de la Red Carretera Federal (RCF) con 3 427.9 km (6,6%), SCT y Secom (2012). En Accidentes de Tránsito (AT) en la RCF (DGST, 1998/08), el estado ocupa el primer lugar nacional al registrar el 8.8% de los siniestros



Figura 3.1
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.



Figura 3.2
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

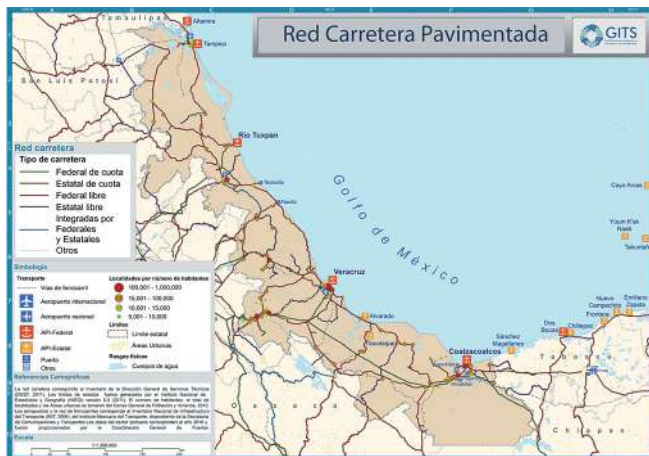


Figura 3.3
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

viales durante 1998-2008. En el transporte marítimo, tres de los puertos mexicanos más importantes se ubican en la entidad: 1) Coatzacoalcos, puerto que forma parte del clúster petroquímico más importante de América Latina, 2) Veracruz, es el puerto más importante de México ya que opera los seis segmentos de carga de mayor relevancia: contenerizada, general suelta, agrícola, granel minera, vehículos, y fluidos no petroleros, y 3) Tuxpan, puerto comercial de mayor proximidad a la capital del país y Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), y centro logístico estratégico de carga y descarga de productos derivados del petróleo (PMDP 2012-2017 y 2011-2016, SCT).

La perspectiva de oferta y demanda

Las condiciones físico-geográficas, sociales, económicas, y de transporte descritas en el apartado anterior, muestran la situación general en la que debe operar la infraestructura carretera para cumplir su función en el desarrollo social, económico y territorial de Veracruz. Para tener una primera aproximación a la identificación de zonas de potencial demanda y oferta de materiales pétreos, asociadas a las actividades del sector carretero, se utilizaron coberturas y datos de la longitud de la red carretera.

En la figura 3.3 se muestra el inventario, clasificación y configuración de la RCP de Veracruz según la jurisdicción de la DGST. A su vez, en la figura 3.4 se destacan los 126 municipios (59,4%), de los 212 en que se divide el estado, que cuentan con Red Troncal Federal Pavimentada (RTFP), (también conocida como red principal o primaria), cuya finalidad primordial es servir al tránsito de larga distancia; comprende caminos de cuota y libres pavimentados, incluidos tramos estatales y particulares (Centro SCT Veracruz, INEGI, 2013).

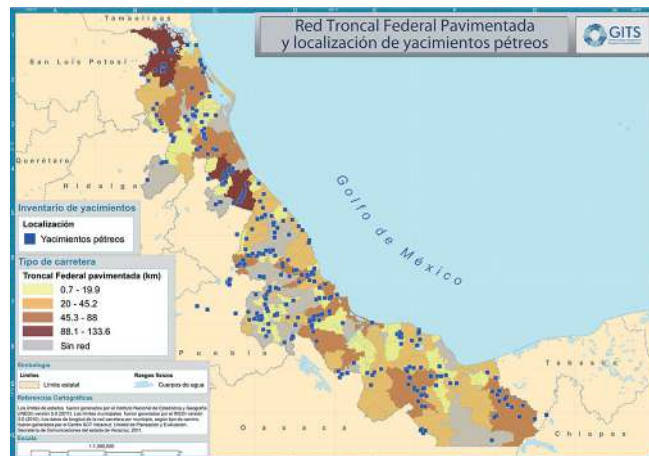


Figura 3.4
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

En el mismo mapa, se presenta la localización y distribución de los yacimientos pétreos georreferenciados, en total, la tabla de Veracruz reporta 333 yacimientos bajo su jurisdicción, pero 21 se ubican fuera de la entidad, en los límites estatales de Puebla (13), Oaxaca (7) y Chiapas (1). Los municipios con mayor potencial de demanda, por la longitud de su RTFP, de agregados pétreos para trabajos de conservación, reparación, ampliación y modernización, son Papantla, Pánuco y Tihuatlán ubicados en el norte del estado (concentran el 11,4% de la longitud). Un segundo grupo de 23 municipios acumula 40,9% de la red troncal. Con base en otras variables como TDPA, niveles de servicio, IRI, deflexiones y roderas, es factible mejorar la identificación de demanda de material pétreo.

Con el propósito de ampliar la información básica de los yacimientos pétreos, se asoció la Carta Geológica escala 1:2,000,000 con el inventario de yacimientos pétreos. En la figura 3.5 se muestra la localización de los yacimientos y el origen geológico del territorio. Para hacer la correlación espacial y estadística se generó en ambas capas el atributo tipo de roca (ígneas, metamórficas y sedimentarias). En el mapa 3.6 se observa la correspondencia espacial entre los tipos de roca de los yacimientos pétreos y las rocas predominantes del territorio. Estadísticamente, se registró una tasa inicial de coincidencia de 77%, este porcentaje aumenta al verificar en la imagen de satélite, a una escala de mayor detalle, el tipo de yacimiento pétreo.

Las estadísticas de la Red Alimentadora Estatal Pavimentada (RAEP), que son carreteras que dan acceso a la Red Troncal y permiten la comunicación interestatal y regional, identifican 5 municipios: Papantla, Ozuama, Alto Lucero, Misantla y Actopan, ubicados en el centro y norte del estado, con potencial

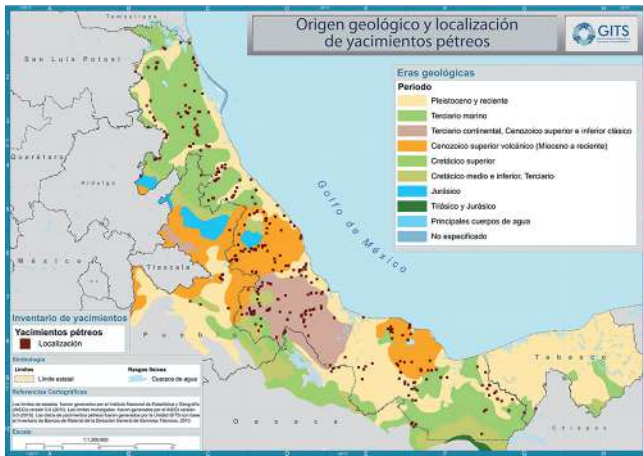


Figura 3.5
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

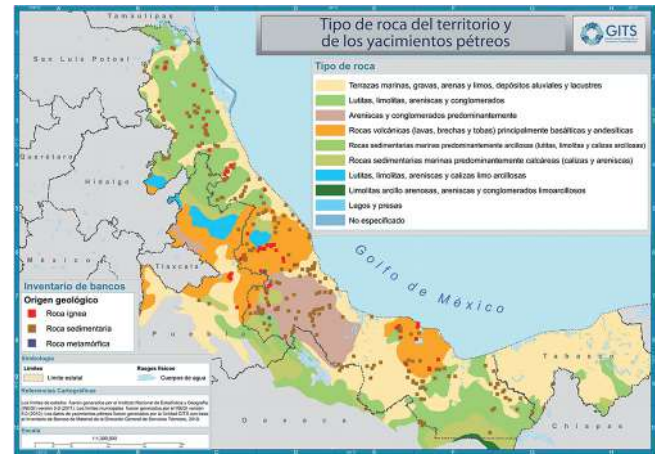


Figura 3.6
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

demanda de materiales pétreos para obras de mantenimiento y modernización, ya que concentran el 12,8% de la RAEP. Un segundo grupo de 22 municipios posee el 32,3% de la longitud de caminos alimentadores (figura 3.7). En relación con la Red Federal de Cuota (RFC), ésta se distribuye en 51 municipios, de los cuales, sólo tres concentran el 27,2% de la longitud: Las Choapas (14,5), Tierra Blanca (6,5) y Juan Rodríguez (6,2). Otro grupo de 6 municipios ubicados en el sur y centro de Veracruz, acumulan el 25,4% de la RFC (figura 3.8). La administración de las autopistas en 42 (82,4%) municipios es federal, 5 municipios de jurisdicción estatal, y uno con tramos federales y estatales.

Otros elementos de la infraestructura carretera son los Puentes y Libramientos federales. En el caso de los primeros, las estadísticas reportan que en 100 municipios (47,2% estatal) se ubican los 273 puentes que suman 36 kilómetros. Los 24 libramientos, con

una longitud total de 141,05 km, se encuentran en 22 (10,4%) municipios y se localizan en la región centro y norte de Veracruz. En la figura 3.9 se muestra la distribución territorial de esta infraestructura en los municipios del estado.

Para dar conectividad a la red carretera y generar la distancia del yacimiento pétreo al tramo carretero pavimentado más cercano, se integraron los tramos pavimentados y revestidos faltantes (figura 3.10); digitalizados con base en imágenes de satélite de alta resolución (2010/12). Asimismo, se incorporaron las terracerías de las cartas topográficas del INEGI 1:50,000. En el mapa, los yacimientos se representan de acuerdo con su precisión de localización.

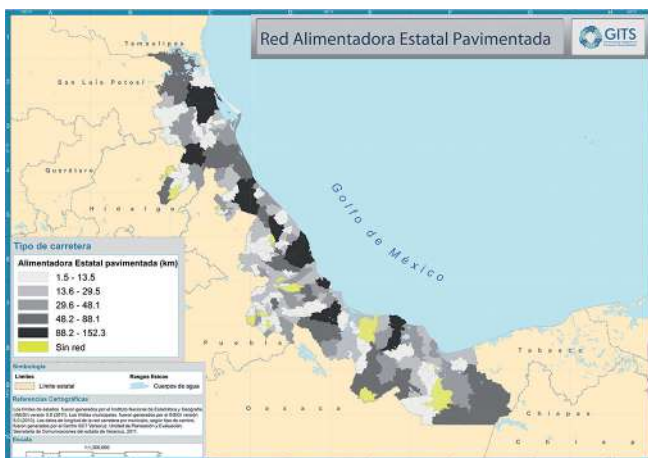


Figura 3.7
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

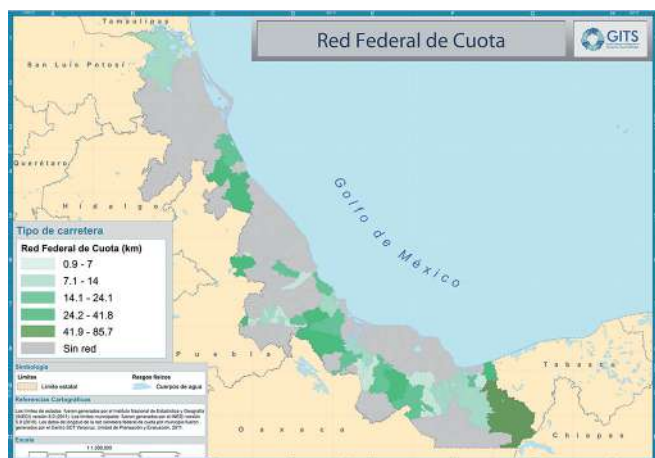


Figura 3.8
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

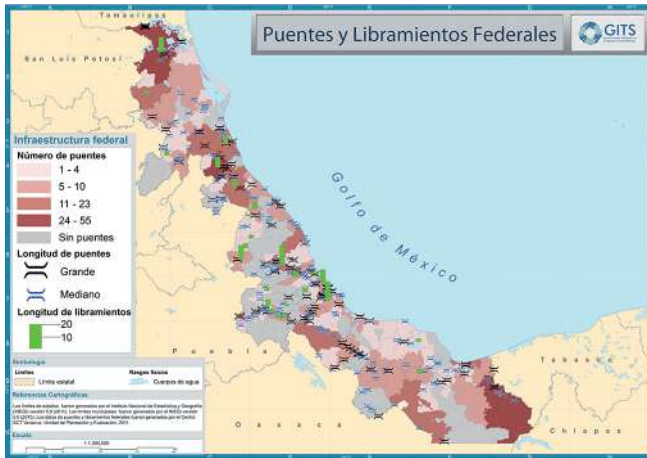


Figura 3.9
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

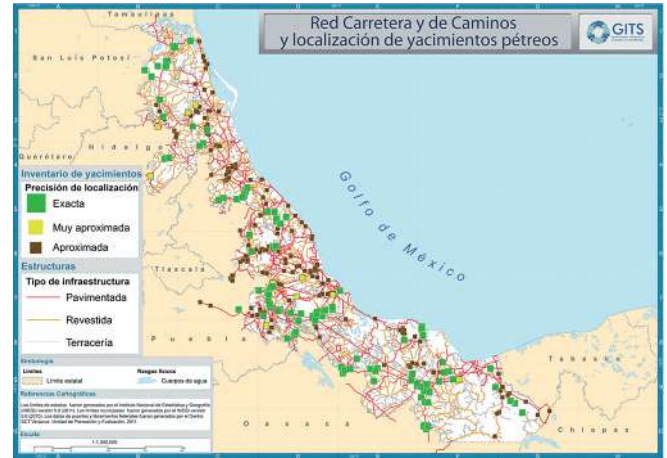


Figura 3.10
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

Segmentación municipal

Con las ocho variables de infraestructura carretera y tres de yacimientos pétreos (número, volumen y distancia a la RCP) se elaboró una clasificación general de municipios. Para ello se utilizó el método estadístico de análisis de conglomerados. Su procedimiento consiste en estandarizar las variables, generar la matriz de distancias, y agrupar los casos mediante el método de partición Ward. El resultado permite identificar municipios con potencial demanda y oferta de material pétreo en función de la correspondencia entre los inventarios de infraestructura carretera y de yacimientos pétreos. Ya sea para trabajos de conservación rutinaria o periódica, de reconstrucción, o de construcción para ampliar y/o modernizar la red primaria y secundaria.

- 38 municipios con una considerable longitud de infraestructura carretera primaria y secundaria, y predominantemente con oferta de material pétreo, y sólo en algunos casos mínima o inexistente oferta.

- 60 municipios con importante oferta de material pétreo, sólo en algunos inexistente o escasa, con infraestructura carretera primaria de intermedia a escasa o inexistente, en particular de la red de cuota, y longitud de red secundaria intermedia.
- 74 municipios con escasa o inexistente longitud de infraestructura carretera federal, con red secundaria de inexistente a media, predominantemente sin oferta de material pétreo, sólo en algunos casos particulares.
- 23 municipios con escasa o inexistente longitud de infraestructura carretera federal, pero con importante red secundaria, sin oferta de material pétreo o muy escasa.
- 17 municipios con variaciones importantes en las variables consideradas.

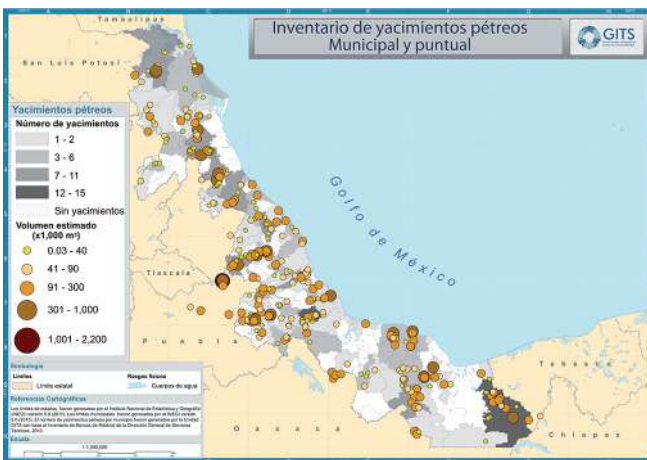


Figura 3.11
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

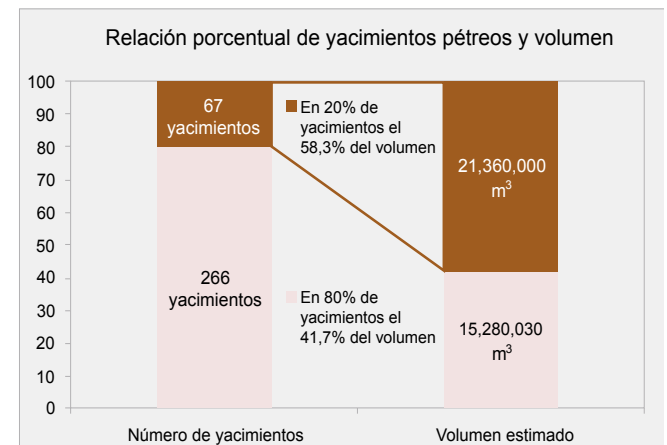


Figura 3.12
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

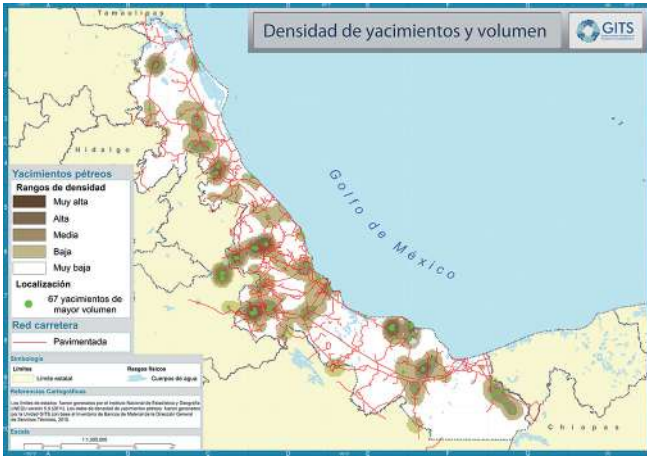


Figura 3.13
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

Localizaciones y áreas óptimas

La base de datos de yacimientos pétreos integrada contiene variables que permiten analizar, además de su distribución espacial, la importancia de cada uno. En la figura 3.11 se indica el número de yacimientos por municipio, en donde 109 municipios (51,4% de los 212) cuentan con al menos un yacimiento. En el mismo mapa, se representa la localización y distribución del volumen de cada depósito. En total, el volumen estimado es de 36 640,03 x 1 000 m³, de los cuales, 58,3% (21 360 x 1,000 m³) corresponde a 67 depósitos que representan el 20% estatal. Es decir, se trata de localizaciones estratégicas de acuerdo con este parámetro (figura 3.12).

Otra forma de analizar los yacimientos pétreos de acuerdo con su localización y volumen, es a través de la identificación y delimitación de áreas de mayor densidad. Para ello se utilizó la aplicación Densidad Kernel del SIG, que calcula la densidad de las localizaciones más próximas, y de manera simultánea pondera

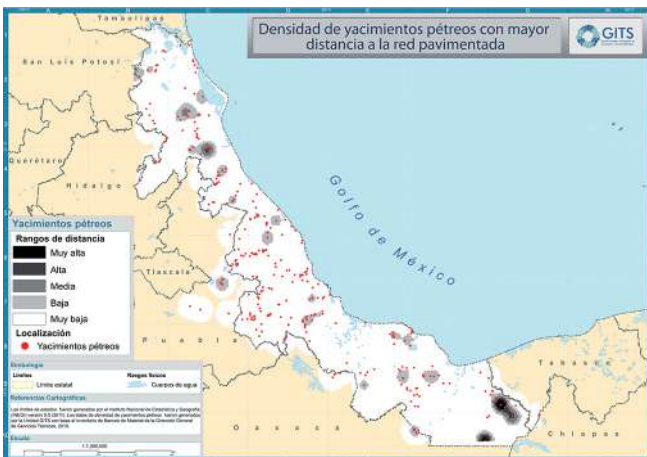


Figura 3.15
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

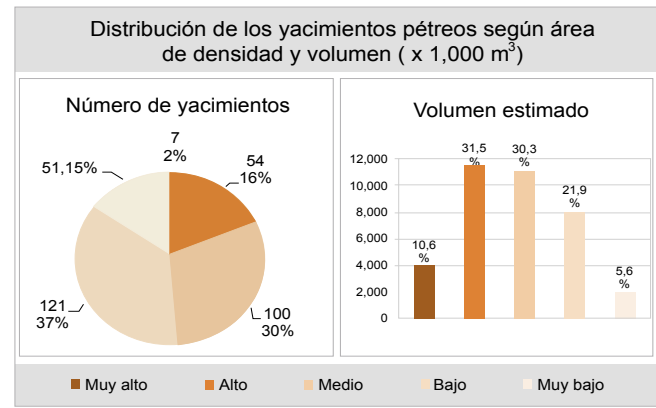


Figura 3.14
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

el volumen de cada yacimiento pétreo. El resultado se muestra en la figura 3.13. En este mapa, se observan las concentraciones territoriales clasificadas en 5 categorías de áreas de densidad con el método estadístico de cortes naturales. La distribución del número de yacimientos y volumen acumulado de cada tipo de área se reporta en la figura 3.14. En su mayoría, las áreas están asociadas a los 67 yacimientos de mayor volumen. La superficie del área estimada de densidad y volumen muy alta es de 276 km², y del área de alta densidad es de 2 070 km². En principio, el resultado permite plantear la organización de economías de aglomeración y escala. Por otra parte, la distancia de los yacimientos pétreos a la red pavimentada a través de caminos revestidos y de terracería, ofrece la posibilidad de medir su nivel de accesibilidad.

Mediante los mismos métodos, se definieron las zonas que concentran los yacimientos con las distancias más grandes a la red pavimentada y ponderadas por el volumen estimado. En

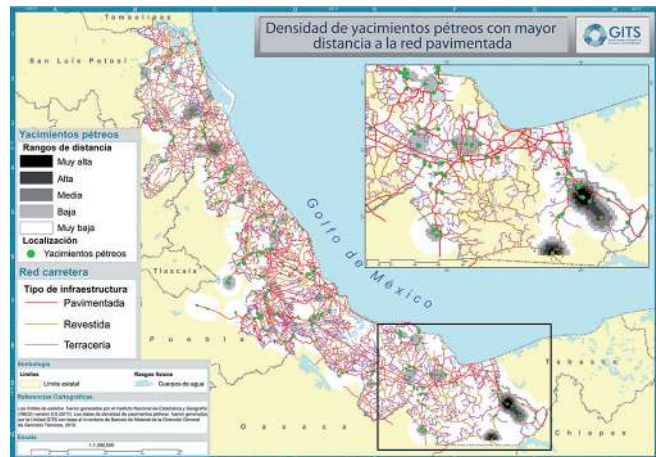


Figura 3.16
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

Figura 3.17 Tabla de rangos, calificaciones y factores de ponderación.

Volúmenes de material					Espesor de despalme					Edad promedio				
Volumen estimado en miles de m3					Espesor promedio en metros					Años de operación del yacimiento				
No	Rango	Categoría	Calific.	Yac.	No	Rango	Categoría	Calific.	Yac.	No	Rango	Categoría	Calific.	Yac.
1	1,001-2,200	Muy alto	5	1	1	0,00-0,20	Muy delgado	5	160	1	0-3	Muy joven	5	15
2	301-1,000	Alto	4	24	2	0,21-0,80	Delgado	4	139	2	4-6	Joven	4	15
3	91-300	Medio	3	112	3	0,81-2,50	Medio	3	29	3	7-9	Media	3	33
4	41-90	Bajo	2	96	4	2,51-6,00	Grueso	2	4	4	10-13	Maduro	2	108
5	0.03-40	Muy bajo	1	100	5	6,10-10,0	Muy Grueso	1	1	5	14-26	Muy maduro	1	162
Factor de ponderación: 0,35					Factor de ponderación: 0,025					Factor de ponderación: 0,05				

Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

la figura 3.15 se observan las 20 aglomeraciones en las que predominan los yacimientos más lejanos. En este sentido, en la figura 3.16 se destaca la aglomeración espacial que tiene menor acceso a la RCP, pero importante por sus 6 yacimientos que acumulan 1 260 x 1 000 m³ de volumen estimado. Debido a que los agregados pétreos son los de mejor calidad (no incluyen materiales para rellenos y terracerías), el abastecimiento está orientado a la red pavimentada, ya sea para utilizarlos en la conservación y/o modernización de infraestructura carretera local o regional. O bien para atender la demanda de nuevas obras, en cuyo caso, la relevancia locacional de los yacimientos podría modificarse en función del trazo del proyecto respectivo; para el cual, los datos georreferidos representan un insumo de gran utilidad para su planeación y ejecución.

Índice de Potencialidad (IP)

El manejo geográfico y estadístico de una variable se emplea para estudiar aspectos específicos. El enfoque que lo complementa es el análisis multivariable, el beneficio de analizar simultáneamente diversas variables, es hacer una valoración integral y sintetizar los resultados. Para ello, se generó el Índice de Potencialidad del Yacimiento Pétreo (IPYP) que incluye siete variables. En la figura

3.17 se indican las tres variables numéricas, en escala de razón, para las cuales se generaron cinco intervalos mediante el método estadístico de clasificación de umbrales naturales (Natural Breaks-Jenks). Así, al rango más alto se asignó una puntuación de 5, y 1 a los yacimientos del intervalo más bajo; el número de yacimientos en cada rango se incluyen en la tabla citada.

Para las cuatro variables cualitativas, en escala ordinal, se procedió a jerarquizarlas de acuerdo con la condición que representan para el manejo sustentable y aprovechamiento óptimo del yacimiento pétreo. En la figura 3.18 se reporta la calificación definida para cada categoría y su frecuencia. Por otra parte, los aspectos evaluados en las restricciones ambientales son, de acuerdo con la fuente de información: 1) Distancia a asentamientos humanos, 2) Horarios para la explotación, 3) Contaminación de polvo, 4) Generación de ruido, 5) Afectación a la flora, 6) Daños a la fauna y 7) Problemas de drenaje.

En el ámbito económico, los aspectos considerados por la fuente de información son: 1) Distancia de desviación a la carretera, 2) Condición superficial del camino y 3) Tratamiento requerido del material y su calidad. Después de asignar calificaciones, donde los valores mínimo y máximo posibles son 1,0 y 4,3. Los valores

Figura 3.18 Tabla de categorías, calificaciones y factores de ponderación.

Restricciones ambientales				Aspectos económicos				Tipo de propiedad				Uso de explosivos			
Nivel de afectación al medio				Nivel de conveniencia económica				Tenencia de la tierra				Requerimientos			
No	Categoría	Calific.	Yac.	No	Categoría	Calific.	Yac.	No	Categoría	Calific.	Yac.	No	Categoría	Calific.	Yac.
1	No existen	4	72	1	Recomendable	4	130	1	Federal	4	147	1	No requiere	3	274
2	Posibles	3	3	2	Conveniente	3	145	2	Particular	3	178	2	Sin restricción	2	57
3	Considerables	2	257	3	Aceptable	2	40	3	Municipal	2	4				
4	Importantes	1	1	4	No recomendable	1	17	4	Ejidal	1	4	3	Requiere	1	2
Factor de ponderación: 0,30				Factor de ponderación: 0,20				Factor de ponderación: 0,05				Factor de ponderación: 0,025			

Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

de ponderación para cada variable, se establecieron de acuerdo con la importancia que adquieren para dimensionar las ventajas que ofrece cada depósito pétreo. Estos factores de ponderación se indican en la parte inferior de las figuras 3.17 y 3.18, la sumatoria de los 7 factores es igual a 1. Para calcular el IPYP, la fórmula matemática es la siguiente:

$$IPYP = \sum_{i=1}^7 x_i p_i$$

Dónde:

IPYP = Es el Índice de Potencialidad de cada Yacimiento Pétreo.

x_i = La calificación obtenida en la i-ésima variable.

p_i = El factor de ponderación de la i-ésima variable.

\sum = La sumatoria de las variables ponderadas.

El IPYP calculado para cada yacimiento se clasificó en 5 rangos, en donde los valores mínimo y máximo registrados fueron 1,45 y 3,70. La distribución territorial de los yacimientos pétreos según las categorías del IPYP definidas, se muestra en la figura 3.19. En el nivel de potencialidad Muy alto, los de mejores condiciones, se encuentran 35 yacimientos (10,5%), 94 depósitos (28,2%) poseen Alta potencialidad; con nivel Medio 99 (29,7%), 79 yacimientos en nivel Bajo (23,7%), y 26 en el rango Muy bajo (7,8%).

A manera de ejemplo, el yacimiento 30_282 ubicado en el sur del estado, con un IPYP Muy alto (3.65), tiene un volumen estimado de 500 x1 000m³ de basalto, con 0,5 metros de despalme, sin restricciones para el uso de explosivos o ambientales, de propiedad federal, conveniencia económica, para ser usado en sub-base, concreto asfáltico y concreto hidráulico, que requiere

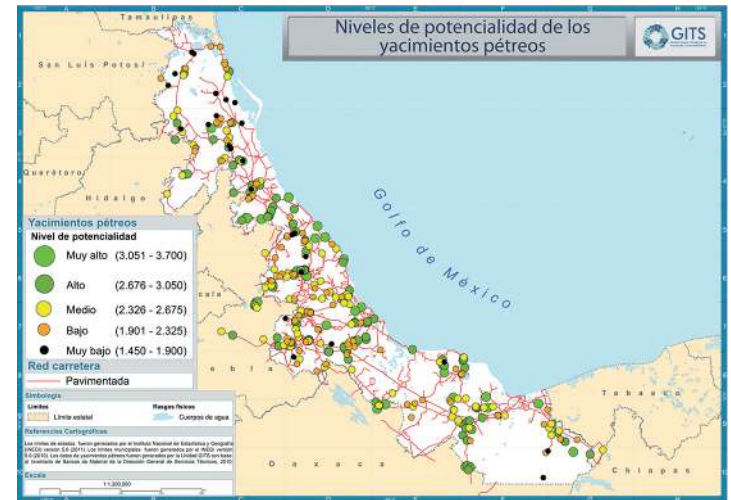


Figura 3.19
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

trituration total y cribado, tiene 11 años de operación, se ubica a 230 metros de la carretera Tatahuicapan-Mecayapan (estatal libre de 2 carriles de asfalto) y a 850 metros de la carretera Oteapan-San Pedro Soteapan (federal libre de 2 carriles de asfalto).

Con base en el IPYP se generaron las áreas de cobertura a 30 kilómetros. En la figura 3.20 se muestran las áreas de influencia, cada 10 km, de los 35 yacimientos pétreos del rango de valores IPYP Muy alto. Asimismo, en la figura 3.21 se representa la cobertura territorial de los yacimientos con IPYP Muy alto (35) y Alto (94). Estas áreas definidas se utilizan para seleccionar los elementos geográficos (infraestructura, localidades y población, recursos naturales) que se encuentran dentro de ellas para hacer un análisis integral y detallado.

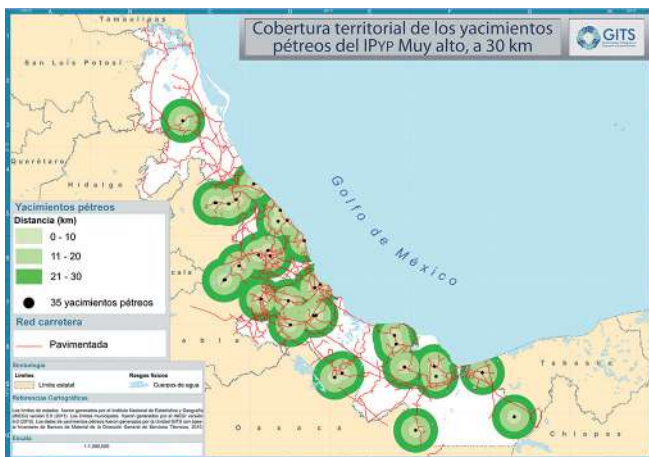


Figura 3.20
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

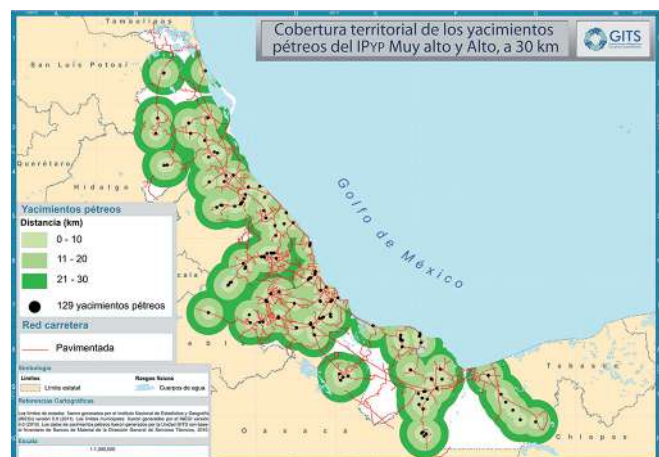


Figura 3.21
Fuente: Elaborado por GITS con datos de las fuentes de información citadas.

Alcance y recomendaciones

El estudio del caso Veracruz revela el potencial del análisis espacial, geoestadístico y estadístico de aspectos importantes de la infraestructura carretera. Los resultados se obtuvieron a nivel nacional, estatal y municipal. Las escalas de referencia geográfica tienen distintas características, procesos y propósitos. En este sentido, el manejo regional, local y microlocal de los datos, permite un análisis con mayor detalle espacial y temático. Esto posibilita que en el futuro se pueda trabajar a nivel de carretera, tramo, subtramo, entronque, puente, túnel o paso vehicular.

Este trabajo fue resultado de la integración previa de datos normalizados, tanto tabulares como vectoriales, en una Geodatabase para el Proyecto SIGCSI-SCT. A escala latinoamericana sería recomendable que los datos de yacimientos pétreos que se registran en los laboratorios de materiales reporten la localización, en entidades puntuales o poligonales, mediante coordenadas geográficas (longitud, latitud y altitud), que las variables medidas tengan la mejor calidad en términos de completitud, desagregación temática, normalizadas, y en la medida de lo posible, variables cuantitativas. Por ejemplo, el IPYB que ofrece una primera aproximación con elementos básicos de análisis, fue construido con los datos y sus características disponibles, no obstante es perfectible por datos y método de cálculo.

CONCLUSIONES

La generación de datos de buena calidad, la integración adecuada de matrices de datos normalizados y la georreferenciación de los mismos, forman parte de la cadena de insumos y procesos necesarios para construir un Sistema de Información Geográfica Corporativo orientado a la gestión y administración de la infraestructura carretera.

Un sistema de información de esta naturaleza ofrece la posibilidad de optimizar los tiempos de respuesta para la consulta, manejo y análisis de los datos del sector carretero y su relación con el contexto físico-geográfico, económico y social inmediato. Mediante el análisis estadístico y espacial, es factible conocer los patrones de localización, distribución y correlación de la oferta y demanda de materiales pétreos, por lo que funcionan como herramienta para la planeación y ejecución de las actividades de construcción, modernización y conservación de la infraestructura carretera con base en un sustento científico que asegure el éxito en la aplicación de los valiosos recursos asignados para tales efectos.

REFERENCIAS

1. Crespo, S. (2010) Materiales de construcción para edificación y obra civil. Editorial Club Universitario. Alicante, España. 295 p. En línea.
2. INEGI. (2013) Anuario estadístico. Veracruz de Ignacio de la Llave 2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. Formato digital.
3. SCT. (2012) Inventario de Bancos de materiales 2011. Centro SCT-Veracruz, Unidad General de Servicios Técnicos, Unidad de Laboratorios. Distrito Federal, México. 39 p. Formato digital.
4. SE y SGM. (2010) Panorama minero del estado de Veracruz. Coordinación General de Minería, SE y Servicio Geológico Mexicano (SGM). Hidalgo, México. 43 p. Formato digital.
5. SE. (2013) Estudio de la cadena productiva de los materiales pétreos. Documento de análisis. Dirección General de Desarrollo Minero, Coordinación General de Minería de la Secretaría de Economía. Distrito Federal, México, 38 p. Formato digital.
6. Chias, L. -Coordinador General-. (2010) Atlas de la Seguridad Vial para los Accidentes de Tránsito de Veracruz, en: Atlas Nacional de la Seguridad Vial. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía; Centro Nacional para la Prevención de Accidentes (CENAPRA); Secretaría de Salud (SS). México, D. F. Versión CD.