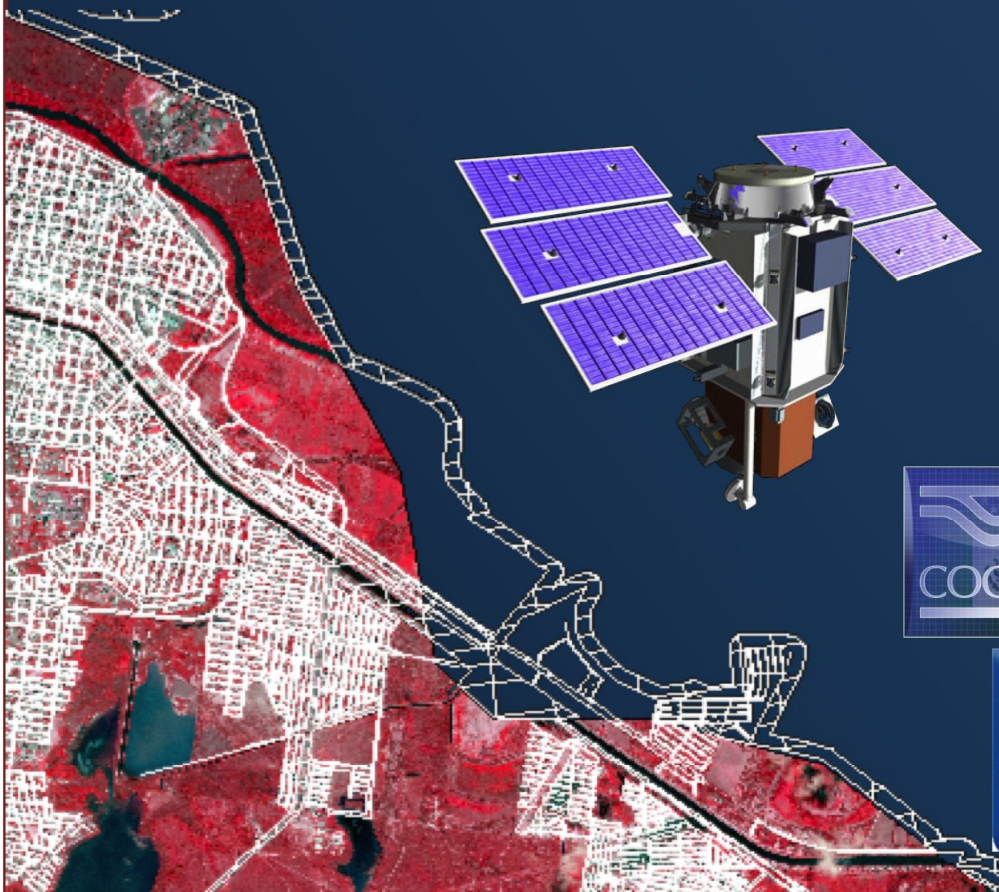


Diagnósticos de Necesidades de Pavimentación por Imágenes Satelitales para Santa Ana, Sonora.

Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF)
Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano (SIDUR), Gob. Edo. de Sonora



SEPROCITEC: Servicios Profesionales Científicos y Técnicos:
Imágenes satelitales, Sistemas de Información Geográfica: Análisis, Capacitación y Asesoría. www.seprocitec.com.mx

Julio 2011
IMÁGENES 2011

Diagnósticos de Necesidades de Pavimentación por Imágenes Satelitales para Santa Ana, Sonora.

Autores: María Elena Giner

José Mario Sánchez Soledad

Luis Ernesto Cervera Gómez

Mario Vázquez Valles

Tomás Balarezo Vásquez

Armando Herrerías Velasco

Hugo Luis Rojas Villalobos

ISBN: 978-607-8021-37-6



© BECC-COCEF

1ª. edición, 2011

Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza

Border Environment Cooperation Commission

Blvd. Tomás Fernández núm. 8069

Ciudad Juárez, Chihuahua, 32470

Tel. (52-656) 688-4600

Impreso en México - Printed in Mexico

Impreso en papel reciclado 24 libras

Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza

Diagnósticos de necesidades de pavimentación por imágenes satelitales para Santa Ana, Sonora / María Elena Giner, José Mario Sánchez Soledad, Luis Ernesto Cervera Gómez, Mario Vázquez Valles, Tomás Balarezo Vásquez, Armando Herreras Velasco, Hugo Luis Rojas Villalobos.- 1ª. Edición .Ciudad Juárez, Chihuahua: COCEF, 2011.

38 páginas; 27 cm + 1 disco compacto.

Incluye bibliografía

ISBN: 978-607-8021-37-6



En este proyecto y con el uso de tecnología satelital y la incorporación de Sistemas de Información Geográfica se propone realizar un inventario del estado actual de pavimentación en las calles de la ciudad de Santa Ana. Dicho inventario de calles con su estatus de pavimentación contará con sub-unidades espaciales conocidas como Áreas Geo estadísticas Básicas así como por Colonias.

1. Pavimentación – Santa Ana, Sonora - Diagnósticos
2. Pavimentación – Santa Ana, Sonora - Inversiones
3. Pavimentación – Santa Ana, Sonora – Planificación

HT169.S35 S6561 2011

Contenido

| | Pag. |
|--|-------------|
| Introducción | 5 |
| Principales hallazgos del Diagnóstico | 7 |
| Objetivos | 8 |
| Santa Ana, Sonora | 9 |
| Antecedentes sobre pavimentación | 12 |
| Impactos | 13 |
| Metodología | 14 |
| Resumen de Resultados | 21 |
| Resultados: Costos y Estadísticas | 22 |
| Tablas de resultados por Colonia | 24 |
| Estadísticas por AGEB | 26 |
| Costos de pavimentación por Colonia | 28 |
| Conclusiones y consideraciones finales | 32 |
| Referencias Bibliográficas | 34 |
| Anexo Mapas Pavimentación | 36 |

INTRODUCCIÓN

El presente “Diagnóstico de Necesidades de Pavimentación por Imágenes Satelitales para la ciudad de **“Santa Ana, Sonora”**”; forma parte del Programa Estatal de Diagnósticos Satelitales para Necesidades de Pavimentación del estado de Sonora; que es producto de la coordinación interinstitucional entre la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) y el Gobierno del Estado de Sonora para conocer las necesidades de pavimentación y establecer estrategias con un alto nivel de precisión, utilizando herramientas tecnológicas de última generación como lo son las imágenes satelitales. Este programa incluye las ciudades que espacialmente se ubican dentro del territorio y ámbito de acción binacional de la COCEF, mismo que para el caso de México cubre hasta 300 kilómetros al sur de la línea divisoria con los Estados Unidos. Este “Programa Estatal de Diagnósticos Satelitales para Necesidades de Pavimentación” del estado de Sonora incluye 12 ciudades inicialmente, que son: Hermosillo; Nogales; Agua Prieta; Cananea; San Luis Río Colorado; Sonoyta; Puerto Peñasco; Caborca; Nacoziari de García; Imuris y Magdalena.

El programa fue financiado a partes iguales por la COCEF y el Gobierno del estado de Sonora; este esquema permitió la programación exclusiva de la toma de imágenes satelitales con fecha muy reciente, algunas de ellas incluso del año 2011, lográndose así, un análisis actual e innovador en la ejecución de este programa. Los países de México y los Estados Unidos de Norte América comparten una frontera común que se extiende por 3,100 kilómetros. A lo largo de ésta se asientan un número importante de ciudades que tienen una contraparte urbana o rural; quedando estas mismas separadas políticamente por la línea divisoria. Ambos países históricamente mantienen relaciones comerciales, ambientales, acuerdos internacionales (v.gr. tratados de límites y aguas, etc.), manifestándose en la mayoría de los casos una interdependencia económica. Coexisten, así tenemos el caso de la ciudad de Tijuana/San Diego en la parte oeste de la frontera hasta el caso de las ciudades de Matamoros/Brownsville al este (ver Figura 1).

En la frontera Sonora-Arizona, destacan por su tamaño poblacional y su condición de ciudades geográficamente ligadas a ciudades estadounidenses, las ciudades de Nogales y Agua Prieta, Sonora. En el Estado de Chihuahua se ubican dos fronteras importantes, Ciudad Juárez/ El Paso, Texas y Ojinaga/Presidio, Texas.

Al norte del estado de Sonora encontramos una frontera que destaca por su actividad comercial; el sector de servicios que ocupa el primer lugar en economía del municipio y segundo lugar la actividad industrial.

De tal suerte que la ciudad de Santa Ana, Sonora queda dentro de los objetivos y lineamientos de proyectos relacionados al mejoramiento de indicadores ambientales y sociales con certificación de la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) y financiamiento por el Banco de Desarrollo de América del Norte (NadBank).

Uno de los problemas ambientales más importantes, sobre todo, de las ciudades mexicanas, tiene que ver con un rezago en calles pavimentadas, teniendo un impacto en la salud y en el ambiente en un contexto binacional. Por el lado americano también existen problemas de pavimentación, pero no tanto de cobertura, sino de mantenimiento, edad del mismo, calidad, etc.

En este proyecto y con el uso de tecnología satelital y la incorporación de Sistemas de Información Geográfica se propone realizar un inventario del estado actual de pavimentación en las calles de la ciudad de Santa Ana. Dicho inventario de calles con su estatus de pavimentación contará con sub-unidades espaciales conocidas como Áreas Geo estadísticas Básicas así como por Colonias. Para lograrlo, se utilizará una imagen satelital del sensor de alta resolución espacial (50 cm./pixel) conocido como World View 2 en combinación de un algoritmo de Sistemas de Información Geográfica, mismo que fue desarrollado originalmente para las ciudades de Reynosa, Matamoros, Nuevo Laredo y Ciudad Victoria en el estado de Tamaulipas; y recientemente en el estado de

Sonora para siete ciudades, entre ellas: Hermosillo, Agua Prieta, Nogales, San Luis Rio Colorado, Cananea, Puerto Peñasco y Sonoyta.

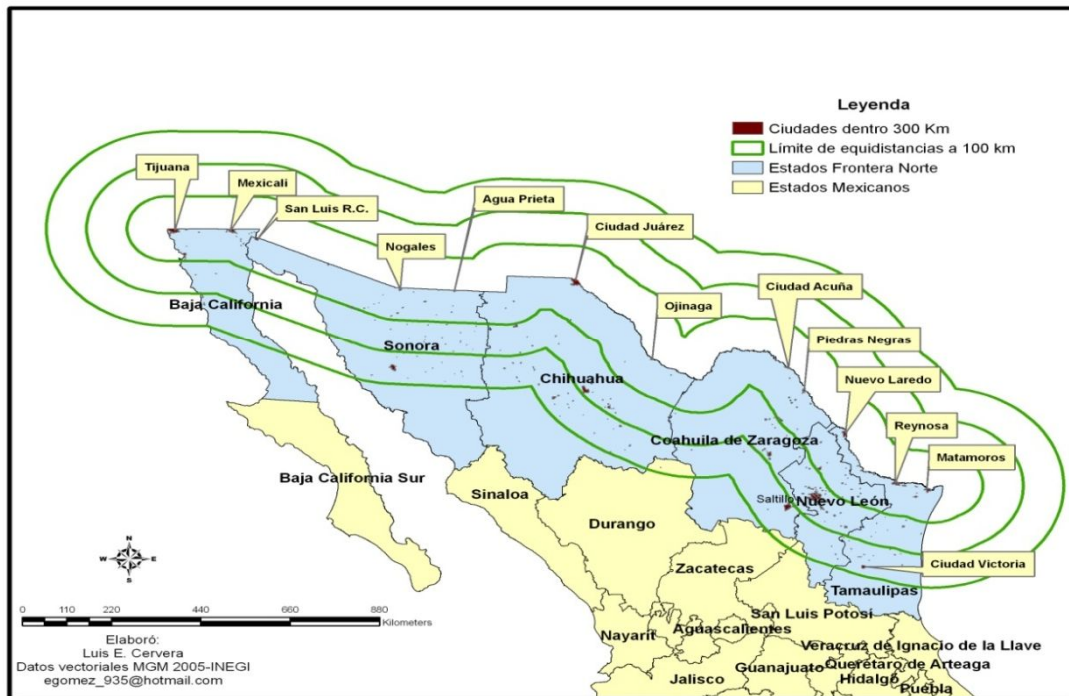


Figura 1. Frontera México Estados Unidos, Ciudades Fronterizas

PRINCIPALES HALLAZGOS DEL DIAGNOSTICO

Los resultados principales indican que Santa Ana, Sonora cuenta con una superficie total de calles estimada en **1, 402,815.34** metros cuadrados, de las cuales un total de **637,523.46** tienen algún tipo de carpeta ya sea asfáltica o de concreto hidráulico. Se calculó que un **45%** de las calles están pavimentadas. Por otra parte, el análisis estima que **55%** restante, no presenta ningún tipo de cobertura de pavimentación.

Se identifica como necesidades de inversión: **283** millones de pesos, en el caso de pavimentar la totalidad del déficit, con asfalto; y de **437** millones de pesos, en caso de utilizar concreto hidráulico.

Las calles sin pavimentar totalizan una superficie de **765,291.88** metros cuadrados, representando ésta cifra un **55%** de la superficie total de calles.

Considerando la población del censo del INEGI 2010 específica, un total de 16,015 habitantes y una superficie con pavimento de **637,523.46** metros cuadrados; con estas cifras, se puede estimar un indicador de 39.81 m² de superficie pavimentada por habitante percápita.

OBJETIVOS

Objetivo principal:

Estimar las superficies totales de calles sin pavimentar y pavimentadas en la ciudad de Santa Ana, Sonora; con los resultados identificar las necesidades de pavimentación en metros cuadrados y que monto de inversión en pesos representa su costo. Para lograr el objetivo se utiliza una imagen satelital de alta resolución espacial, relacionando los resultados tanto, con la población beneficiada como con los costos asociados de pavimentación con asfalto ó concreto hidráulico.

Los objetivos específicos son:

- Aplicar un algoritmo que estime indicador urbano de superficies pavimentadas y sin pavimentar en un período corto de tiempo y sin supervisión de campo. Esto último se suple con una precisa supervisión sobre la imagen satelital.
- Los polígonos base para extraer superficies, resultados y estadísticas de la clasificación son: el “Área Geo-estadística Básica...AGEB” y las Colonias. El primero para establecer relaciones con variables censales y el segundo para el manejo de estadísticas de superficies y costos.
- Relacionar resultados finales de superficies sin pavimentar con costos promedio de pavimentación de: Asfalto y Concreto Hidráulico.
- Generar cartografía digital en ambiente de Sistemas de Información Geográfica que se convierta en una herramienta de ayuda tanto para la actualización de los inventarios de calles como para los programas de pavimentación en la ciudad de Santa Ana, Sonora.

- Proveer una metodología replicable que permita estimaciones de superficies no pavimentadas en otras ciudades.

Santa Ana, Sonora

El Municipio de Santa Ana se, se encuentra localizado en la zona noreste del estado mexicano de Sonora, colinda al norte con los municipios de Tubutama y Magdalena; al sur con Benjamín Hill y Opodepe, al este con Cucurpe y al oeste con Trincheras. (Ver Figura 2). Por sus coordenadas geográficas se localiza en el paralelo $30^{\circ} 33'$ de latitud norte y longitud $111^{\circ} 07'$. Se encuentra a una elevación 548 metros sobre el nivel del mar.

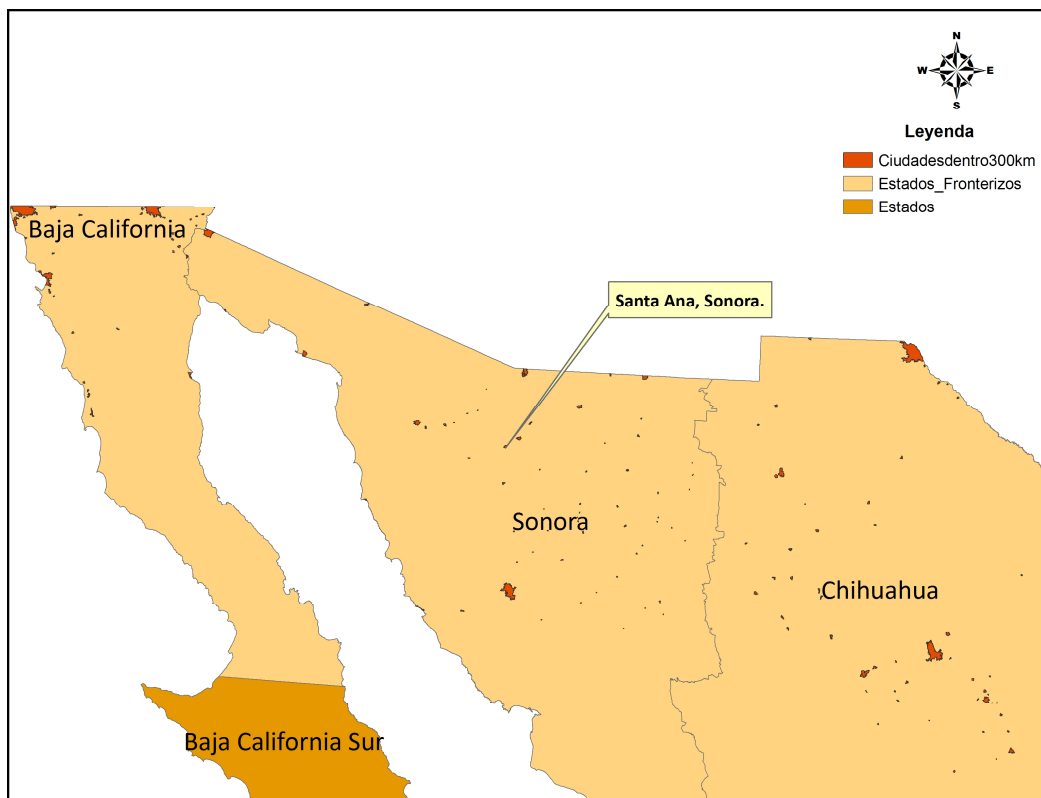


Figura 2. Localización de Santa Ana, Sonora.

Demografía, equipamiento y servicios

De acuerdo con el último Censo de Población y Vivienda (2010), la Ciudad de Santa Ana, Sonora cuenta con una población de 16,015 habitantes. En la proyección de población CONAPO se deduce que al año 2030, la población aproximada será de 14,706 habitantes al año 2030 (en un escenario con tasa de crecimiento negativa). La población en el año 2010 reside en un total de 3,369 viviendas habitadas (Censo Población y Vivienda 2010).

En materia de infraestructura urbana y equipamiento de servicios en las viviendas, del SCINCE 2005¹, indica que la ciudad de Santa Ana, Sonora; presenta que el 0.08% de las viviendas habitadas no disponen de agua entubada en la red pública, estas viviendas se encuentran principalmente ubicadas al sur, siendo críticos las AGEBs 10382, 10397, 1019A, 1040A, 10414 y 10363 entre otras. Se estima además que un 0.46% de las viviendas habitadas no disponen de drenaje. Son las AGEB's 10382, 10397, 1019A, 1040A, 10414 y 10363 entre otras.

Otras cifras indican que el 24.54% de las viviendas disponen de energía eléctrica. En general el 23.76% de las viviendas habitadas disponen de agua entubada a la red pública, drenaje y energía eléctrica. En términos del espacio urbano y los datos previamente presentados; la cobertura de servicios básicos es deficiente.

¹ SCINCE: Sistema para la Consulta de Información Censal, INEGI

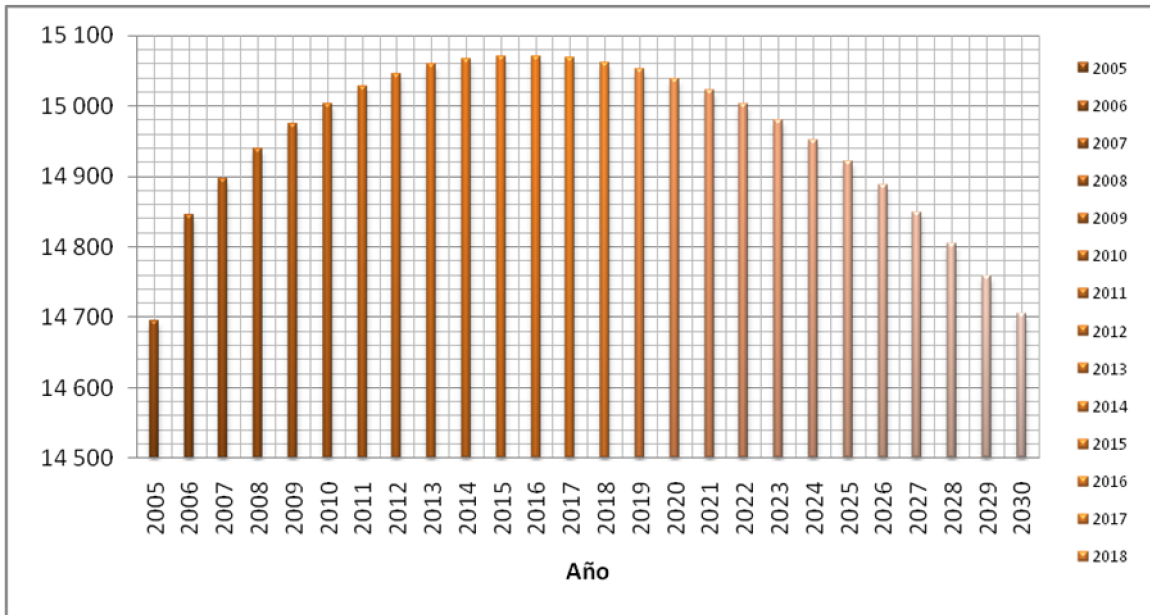


Figura 3. Proyección de población para la Ciudad de Santa Ana, Sonora

Fuente: Consejo Nacional de Población (CONAPO)
 Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (mayo 2011)

Conformación urbana: Colonias y AGEB's

La ciudad de Santa Ana, Sonora se encuentra conformada por 14 polígonos diseñados para levantamiento censal y son conocidos como Áreas Geo estadísticas Básicas (AGEB's). Sin embargo, la cartografía de AGEB's fue creada entre el 2004 y 2005.

En este diagnóstico se tuvo la necesidad de crear nuevos polígonos de crecimiento urbano para las estimaciones de superficies pavimentadas y sin pavimentar, así como sus costos. En total se poligonizaron 2 nuevos asentamientos urbanos; estos quedaron distribuidos de la siguiente manera:

- Nuevos Desarrollo Sur
- Nuevos Desarrollo Norte

Para la creación de estos polígonos de crecimiento solo se utilizó como criterio la poligonización de los límites del nuevo asentamiento, esto es, no necesariamente corresponden a límites de colonias oficiales.

ANTECEDENTES SOBRE PAVIMENTACIÓN

La aplicación de técnicas de percepción remota y el uso de imágenes satelitales de alta resolución espacial, permiten la extracción de información sobre las manchas urbanas sin estar en contacto directo con ellas; esto es, sin requerir levantamiento de información con brigadas de personal de campo. Con estas técnicas se contribuye a la creación de indicadores de pavimentación útiles para las autoridades municipales e instituciones financiadoras, ya que permiten en corto tiempo, actualizar inventarios de calles y estimar costos con una buena aproximación.

Se ha identificado, como una práctica cada vez más difundida en algunos gobiernos locales, la utilización de las imágenes obtenidas desde la plataforma Google Earth, para actualizar el inventario de pavimentación de las ciudades fronterizas mexicanas. Esta práctica puede inducir errores de estimación, dado que las imágenes de esta plataforma se componen por un mosaico de imágenes con diferentes temporalidades y sin orto-rectificación.

Para el caso específico de pavimentación, está más que probado que, las técnicas de Percepción Remota (PR) tienen el potencial de proveer información detallada de caminos, redes de calles; y puede ofrecer una forma más económica y rápida para mejorar las prácticas comunes para la observación y el inventario de la red de transporte (Jensen and Cowen 1999, Usher 2000).

La cartografía digital generada y debido a que está geo-referenciada, se liga fácilmente a variables censales e indicadores socioeconómicos y ambientales. De tal suerte que, facilita la extracción de información y la construcción de indicadores de calidad de vida y desarrollo.

IMPACTOS

La pavimentación se relaciona con indicadores de **salud**, directamente aquellos relacionados con calidad del aire. Los suelos sin pavimento contribuyen de forma significativa, con la emisión de partículas de polvo a la atmósfera inmediata, quedando expuesta la población a riesgos evidentes de enfermedades respiratorias entre otras.

Uno de los indicadores ambientales o de contaminantes aéreos más importantes, es el PM_{10} . Este se refiere a las partículas de polvo suspendidas con un diámetro menor a los $10\ \mu m$ (PM_{10}). Las concentraciones de PM_{10} en la atmósfera inmediata a las ciudades, está al parecer altamente relacionada con el tránsito de la carga vehicular sobre una superficie de calles no pavimentadas.

En ciudades fronterizas como Mexicali, B.C., existen reportes indicando que hasta un 63% de la contaminación del aire por PM_{10} en la ciudad; lo cual equivale a 53,689 toneladas de PM_{10} por año, es debida al levantamiento de polvo por el tránsito de vehículos en caminos que no cuentan con pavimentos. Este indicador para Mexicali, se relaciona a una superficie no pavimentada del 38 % de la ciudad. Para el caso de la ciudad de Tijuana, un inventario de emisiones de la calidad del aire (2000-2005), reportó que se generan 23,563 toneladas anuales de PM_{10} , de las cuales el 76 % son producto del tránsito vehicular sobre calles sin pavimentar. Para ese mismo periodo, se reportaba que en la ciudad de Tijuana, un 40% de las vialidades no contaban con algún revestimiento (COCEF, 2003).

Ciudad Juárez, es otro de los casos de ciudades fronterizas con una gran extensión en la conformación de su mancha urbana. Actualmente cuenta con una cobertura de pavimentación del orden del 72% (calculado al 30 de junio- IMIP², 2011).

² IMIP: Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ciudad Juárez, Chihuahua.

Los caminos no pavimentados normalmente, han sido identificados con asociaciones positivas entre las concentraciones de PM_{10} y el número de consultas por asma y enfermedades respiratorias. Adicionalmente, propician tiempos de traslado más elevados para la ciudadanía; afectando el desplazamiento diario hacia centros escolares, zonas comerciales, parques industriales, parques, etc. Estas condiciones se exacerban durante época de lluvias, que además de elevar los tiempos de traslado o impedirlos, se convierten en aportadores directos de material de arrastre. Sin duda, un problema importante lo constituye la inexistencia de banquetas y guarniciones, mismas que tienen una función muy importante para la seguridad del peatón y seguridad de las viviendas.

Esfuerzos recientes señalan que En Santa Ana, Sonora y con una inversión de un millón seiscientos mil pesos, se estaba por concluir la pavimentación de la calle Vaporcito y Avenida Cuauhtémoc de la colonia Infonavit, de tal manera que en el mes de enero de 2011 se tenía contemplada la pavimentación de las calles Zaragoza y calle Hidalgo.

Al pavimentarse estas calles, se tendrán 13 kilómetros de pavimentación en lo que va de la Administración 2009-2012. La inversión en el párrafo anterior tiene un costo de 3.5 millones de pesos.

METODOLOGÍA

Para la estimación de los indicadores de pavimentación que involucran superficie y longitud de calles, así como costos, se requiere la adquisición de imágenes con características de alta resolución espacial y espectral, requeridas para esta metodología aplicada y utilizando imágenes del sensores satelitales Quick Byrd y WV2. Estos datos

nos brindan un tamaño de pixel de .61 metros y 0.50 metros respectivamente; resolución espacial ya probada para el análisis de calles pavimentadas.

Para el caso de Santa Ana y gracias a los rápidos avances tecnológicos, se tuvo la ventaja de un incremento en la resolución espacial con el satélite recién lanzado el 2009, se trata del **World View 2 (WV2)**. La resolución se incrementó a 50 centímetros por pixel. Con este tamaño de píxel se posibilita la aplicación de un algoritmo que puede operar de manera semi-automatizada. Los resultados se pueden supervisar con la misma imagen original en su versión Pancromática, que permite de manera visual diferenciar superficies que tienen pavimento de aquellas que no lo tienen. Considerando una calle terciaria promedio de 12 metros de ancho por 100 de largo, o bien 1,200 m²; con la Imagen WV2 se tienen un total de 24 pixeles de ancho por 200 pixeles de largo, esto es, un total de 4,800 pixeles por calle. El resultado, un valor muy aproximado en la superficie estimada contra la real.

Las estimaciones se realizaron por polígonos de Colonias y por polígonos de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB's³). La imagen inicial requirió un proceso de rectificación, así como la estandarización de la proyección geográfica y los sistemas coordenados utilizados por el INEGI en la generación de su cartografía digital, estos son: Proyección Geográfica UTM, WGS 1984, Zona 12 Norte.

Un paso importante consiste en crear máscaras que permitan quedarnos con solo la parte de la imagen correspondiente a calles. Este paso es posible, después de ajustar espacialmente el archivo vectorial de manzanas con la imagen satelital. Una vez ajustadas se produce un archivo binario (dos valores), donde lo que está dentro de las manzanas adquiere el valor de "cero", quedando con valor de "uno", el correspondiente a la superficie de calles. Por último, se multiplica el archivo binario por la imagen, dando como resultado una imagen de calles para la ciudad.

³ Definición INEGI.

El procedimiento anterior elimina drásticamente el “ruido” (confusión de valores espectrales) que se genera al clasificar mediante procesos de clasificación supervisada a la imagen completa; lo anterior evita confundir los valores de píxeles al interior de las manzanas con los píxeles de calles. La aplicación de clasificación y post-clasificación a la imagen de calles, produjo como resultado, clases muy entendibles y que en primera instancia correspondieron a: Pavimentación; Sin Pavimentación; Vegetación; y otros. El ambiente o sistema “raster” a utilizar, se conoce como ENVI en su versión 4.5; software avanzado para efectos de clasificación espectral y generación de mapas temáticos. La figura 6 resume el algoritmo para pavimentación.

Satélite/sensor: World View 2

El satélite denominado World View 2 (WV-2) y que fue lanzado el 8 de octubre del año 2009, se considera como el satélite comercial (multi-espectral) de la más alta resolución espacial. Opera, a una altitud de 770 kilómetros. Las imágenes pancromáticas, tienen una resolución de 46 centímetros y 1.84 cm de resolución multi-espectral. Sin embargo, para uso comercial fuera del gobierno de los Estados Unidos, la resolución es re-muestreada a 50 cm. El sistema World View, ofrece una alta precisión, agilidad, capacidad y diversidad espectral. Es comercializada por la empresa DIGITAL GLOBE.

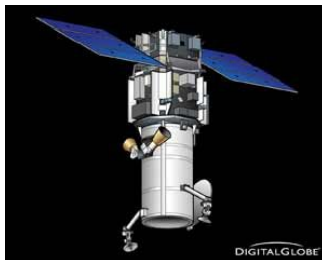


Figura 4. Satélite World View 2

Tomada de: <http://digitalglobe.com>

La imagen trabajada en este diagnóstico, fue programada a solicitud de la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) a la empresa Digital Globe para registrar la ciudad de Santa Ana, Sonora el 08 de enero de 2011 (ver Figura 5). El algoritmo general de trabajo se expresa de forma sintetizada en el Figura 6.

La Figura 7, es obtenida de la imagen anteriormente mostrada y nos exhibe un mosaico de la diversidad de condiciones en las calles de Santa Ana, vigentes al mes de enero de 2011. Se muestra la información por pares de imágenes que conforman la imagen cruda contra la imagen procesada. La metodología propuesta en este trabajo, da como resultado la clasificación de calles igual a las mostradas en la Figura 7. Una vez que el usuario cuente con toda la información digital y los sistemas apropiados, se podrá realizar procesos de supervisión de los resultados y en su caso, editar, corregir y actualizar la información de vialidades. La herramienta constituida como proyecto en la plataforma de Arc GIS; puede ser consultada en conjunto con la imagen y los resultados de clasificación satelital realizados. Es posible detectar, como la alta resolución espacial de la imagen (4,800 pixeles por calle), ayudó a reconstruir la imagen de las calles con sus atributos de información cartográfica asociada (cartografía vectorial INEGI, datos socio-demográficos y socio-económicos).

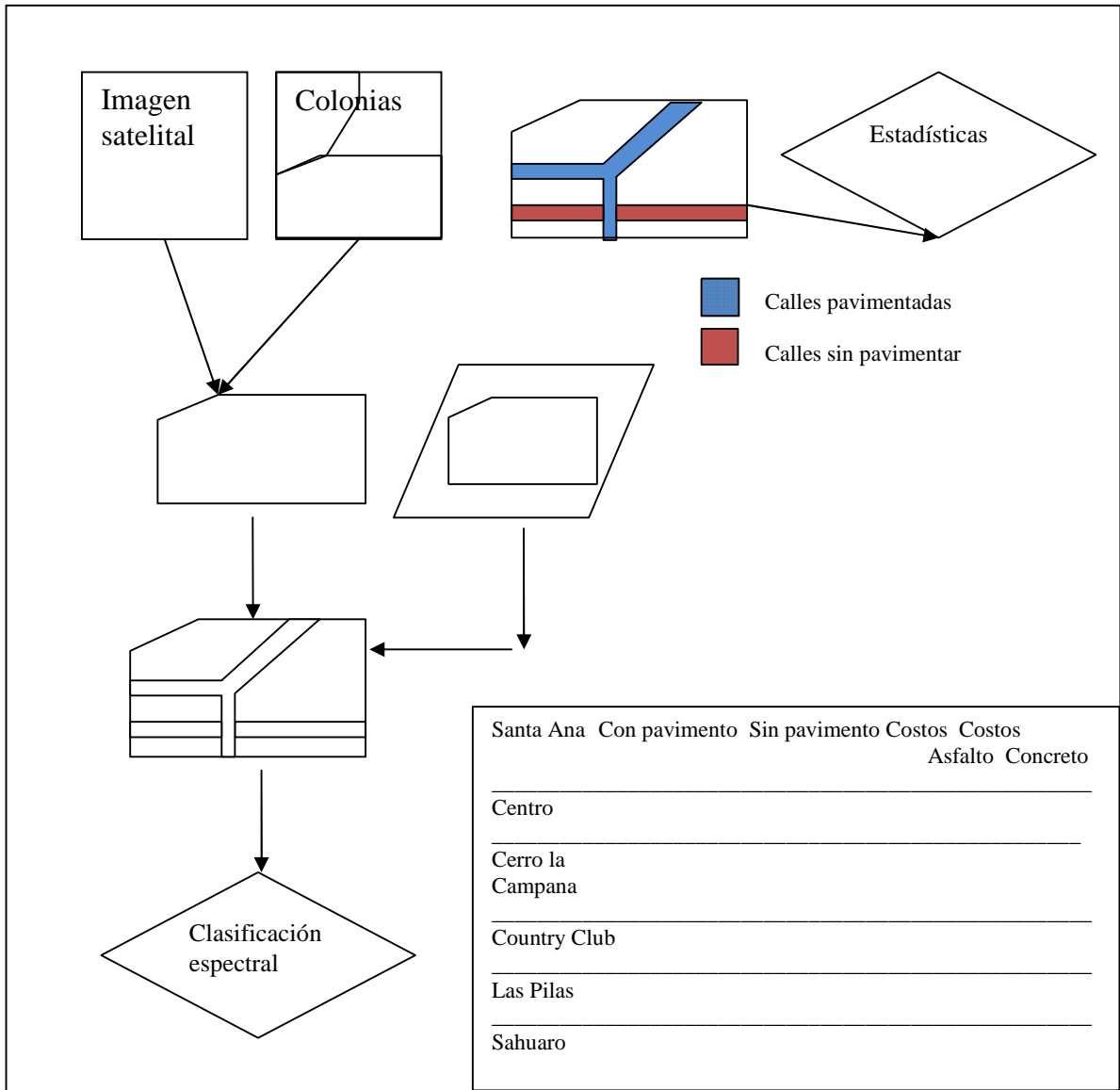
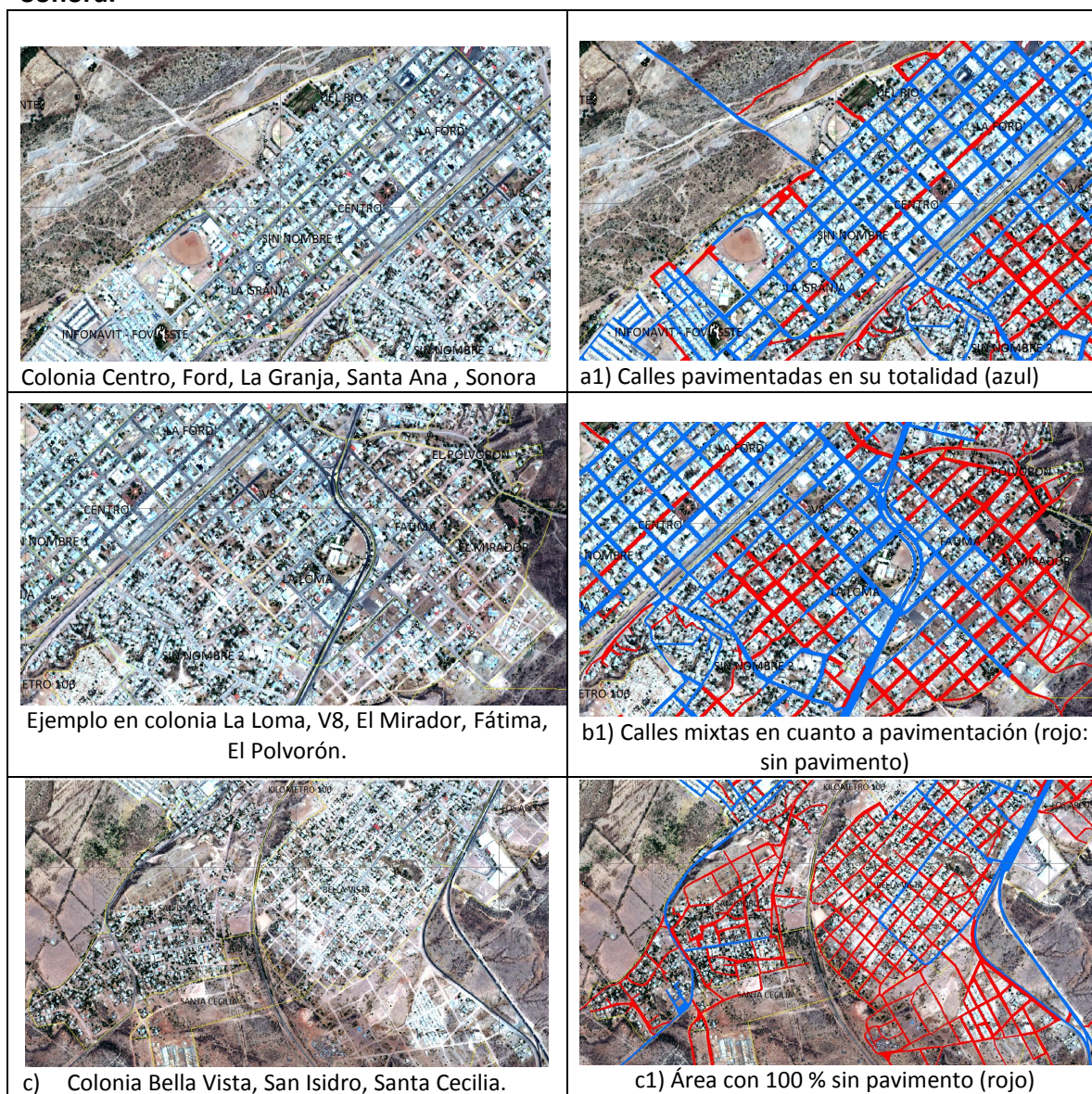


Figure 6. Algoritmo propuesto para clasificación de pavimentación

Figura 7. Ejemplos de la diversidad del estatus de pavimentación en Santa Ana, Sonora.



RESUMEN DE RESULTADOS

Este diagnóstico de necesidades de pavimentación de la Ciudad de Santa Ana, Sonora, puede ser considerado de vanguardia en el uso de la tecnología de percepción remota y de técnicas de análisis espacial aplicadas a una problemática específica urbana. La posibilidad de contar con una imagen satelital de alta resolución espacial (50 cm/pixel) programada para una fecha reciente (08 de enero de 2011), hizo posible realizar un inventario de calles actualizado. Y La resolución del pixel de 50 centímetros permite una conformación de las calles con muy alta aproximación a sus medidas reales. De tal manera, que en una calle promedio de 12 metros de ancho por 100 metros de largo se tienen un total de 24 pixeles de información por 200 pixeles de largo. Esto es 4,800 pixeles por calle. Esta situación nos conduce a precisiones del 95 por ciento.

El presente diagnóstico indica que la Ciudad de Santa Ana, Sonora cuenta con una superficie total de calles estimada en **1, 402,815.34** metros cuadrados; de los cuales un **55%** no cuenta con ningún tipo de pavimento en su superficie. Un **45%** cuenta con algún tipo de revestimiento (cuadro 1). Los resultados se presentan en tablas estadísticas relacionadas a un total de 14 Áreas Geo-estadísticas Básicas y a un total de 19 polígonos de colonias y 2 polígonos de nuevos desarrollos.

Cuadro 1. Estadísticas de superficie en calles y su cobertura en Santa Ana, Sonora (Mayo, 2011)

| Condición | Superficie en m ² | Porcentaje de cobertura |
|----------------|------------------------------|-------------------------|
| Sin pavimentar | 765,291.88 | 55% |
| Con Pavimento | 637,523.46 | 45% |
| Total | 1,402,815.34 | 100% |

Fuente: Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (mayo 2011)

La superficie de calles sin pavimentar que quedan dentro de polígonos de colonias establecidas, es de un total de **408,251.60** m², adicionalmente existen un total de **357,040.28** m² de calles sin pavimentar fuera de estos límites, o bien consideradas en este análisis como asentamientos nuevos (2 en total).

El costo promedio de pavimentar con **asfalto** fue estimado en 371.08 pesos por metro cuadrado y para **concreto hidráulico** de 571.20 pesos por metro cuadrado.

Considerando las estadísticas de superficie de calles y los costos de pavimentación tenemos los siguientes montos requeridos para pavimentación de Santa Ana, Sonora (ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Costos por tipo de pavimentación para Santa Ana, Sonora (mayo, 2011)

| Cobertura | Asfalto (pesos) | Concreto Hidráulico (pesos) |
|---|-------------------------|-----------------------------|
| Total Santa Ana, Son. Polígonos de colonias Y nuevos desarrollos | \$283,984,510.83 | \$437,134,721.86 |

Fuente: Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (mayo, 2011)

RESULTADOS: COSTOS y ESTADÍSTICAS

Los costos promedios de pavimentación asfáltica y con concreto hidráulico fueron calculados por al mes de Abril del año 2011 (cuadro 3).

Cuadro 3. Costo del asfalto y el concreto hidráulico; estimado en pesos por metro cuadrado y vigente al 30 de Abril del 2011.

| Costo promedio en pesos por metro cuadrado Fuente: | Asfalto (pesos) | Concreto (pesos) |
|---|-----------------|------------------|
| Costo promedio zona fronteriza* | \$451.40 | \$664.00 |
| Dirección General de Costos, Gobierno del Estado de Sonora | \$374.00 | \$608.00 |
| Dirección General de Costos del Estado de Sonora para San Luis Rio Colorado | \$425.00 | \$695.00 |
| Dirección General de Costos del Estado de Sonora para Hermosillo, Sonora | \$330.00 | \$529.00 |
| Dirección General de Costos del Estado de Sonora: Agua Prieta, Sonora | \$275.00 | \$360.00 |
| Costo Promedio | \$371.08 | \$571.20 |

*Elaborado con los costos de; COCEF; Dirección de Infraestructura Urbana y Obras Públicas de San Luis Río Colorado, Sonora y la Dirección de Obras Públicas del Municipio de Ojinaga, Chihuahua.
Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (julio, 2011)

Con los costos descritos en el cuadro anterior se procedió a calcular los costos de pavimentación para la ciudad de Santa Ana, Sonora. En el escenario de pavimentar el 100 por ciento de las calles sin algún tipo de cubierta, se requeriría una inversión total de **\$283, 984,510.83** de pesos con la opción de asfalto y de **\$437, 134,721.86** pesos con concreto hidráulico. Dado los altos costos del concreto, el escenario de pavimentar con concreto hidráulico el total del déficit de pavimentación es poco factible. Los programas de pavimentación para calles dentro de colonias o de nivel secundario o terciario normalmente se considera asfalto, pavimentando con concreto hidráulico solo las calles de primer orden o primarias.

En resumen, la gran diferencia entre los costos de pavimentación entre el asfalto y el concreto normalmente hace que las autoridades decidan por la primera opción. Sin embargo, es necesario considerar algunas diferencias técnicas importantes entre los dos materiales.

Asfalto

- Se deteriora más rápido con el tiempo
- Requiere reparaciones y re-carpeteos constantes
- Alto costo de mantenimiento
- Deformación en su superficie ofreciendo un manejo irregular, o bajo índice de servicio.

Concreto

- Deterioro mínimo durante su vida útil
- Duración de 20 a 30 años
- Mantenimiento mínimo
- Deformación mínima de su superficie
- Índice de servicio alto durante su vida útil
- Mayor velocidad de construcción
- Disminución de costos de operación
- Mejor drenaje superficial

- Mayor reflexión de luz
- Requiere menor estructura de soporte

TABLA DE RESULTADOS POR COLONIAS

De los mapas contenidos en los archivos proyecto creados en el Sistema de Información Geográfica se extrae un resumen de las tablas relacionales, éstas son exportadas de su formato original a una hoja de Excel. En primer orden se presentan las estadísticas principales de cobertura de calles con o sin carpeta asfáltica (ver tabla 1). Los datos son presentados por colonia, con el fin de que el usuario(a) pueda entender y discernir la información por esta entidad urbana, además de que se convierte en un elemento importante de ayuda en la priorización de los programas de pavimentación y en la toma de decisiones sobre la materia.

El mapa de colonias queda representado por un total de 19 polígonos relacionados a una colonia con nomenclatura, además con 2 polígonos más considerados como “asentamientos nuevos” y en los que aparentemente no cuentan con nomenclatura de colonia. Se encontró una superficie de **1, 402,815.34 m²** de calles, de las cuales **765,291.88 m²** no cuentan con ningún tipo de pavimento y un total de **637,523.46 m²** están pavimentados. En total, la ciudad de Santa Ana cuenta con el **45%** de sus calles con pavimento y un **55%** de sus calles están sin pavimentar. El mapa 1 (anexo) muestra la distribución de calles pavimentadas y sin pavimentar.

Destacan con un alto porcentaje sin pavimentación (por arriba del 70% y menos del 100%) las colonias: San Isidro, Nuevos Des Sur, Bella Vista, Kilometro 106, El Mirador, El Polvorón, Kennedy y Santa Cecilia.

Destacan con bajo porcentaje sin pavimentación (por abajo del 70%) las colonias: Centro, La Ford, La Granja, Infonavit - Fovissste, Sin Nombre 1, La Loma, V8, Del Rio, Las Playitas, Fátima, Sin Nombre 2, Nuevos Desarroollos Norte y Los Arcos.

Tabla 1. Superficies pavimentadas y sin pavimentar por polígonos de Colonias de Santa Ana, Sonora (mayo, 2011)

| Colonia | Pavimentado (m ²) | Sin pavimentar (m ²) | Pavimentado (%) | Sin pavimentar (%) | Superficie total de calles |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|
| Bella Vista | 21,630.89 | 100,580.43 | 18% | 82% | 122,211.32 |
| Centro | 27,406.05 | 3,786.90 | 88% | 12% | 31,192.95 |
| Del Rio | 38,479.79 | 17,073.87 | 69% | 31% | 55,553.66 |
| El Mirador | 804.74 | 15,186.35 | 5% | 95% | 15,991.09 |
| El Polvorón | 501.24 | 15,887.20 | 3% | 97% | 16,388.44 |
| Fátima | 39,465.88 | 29,220.72 | 57% | 43% | 68,686.60 |
| Infonavit - Fovissste | 39,715.82 | 8,939.76 | 82% | 18% | 48,655.58 |
| Kennedy | - | 1,541.14 | 0% | 100% | 1,541.14 |
| Kilometro 106 | 753.52 | 7,645.48 | 9% | 91% | 8,399.00 |
| La Ford | 39,420.70 | 6,496.24 | 86% | 14% | 45,916.94 |
| La Granja | 30,325.73 | 5,158.05 | 85% | 15% | 35,483.78 |
| La Loma | 29,651.38 | 6,691.98 | 82% | 18% | 36,343.36 |
| Las Playitas | 20,243.01 | 9,390.74 | 68% | 32% | 29,633.75 |
| Los Arcos | 21,196.30 | 35,796.96 | 37% | 63% | 56,993.26 |
| Nvos Des Nte | 144,230.42 | 143,145.33 | 50% | 50% | 287,375.75 |
| Nvos Des Sur | 63,965.12 | 213,894.95 | 23% | 77% | 277,860.07 |
| San Isidro | 30,047.79 | 83,125.29 | 27% | 73% | 113,173.08 |
| Santa Cecilia | - | 8,660.03 | 0% | 100% | 8,660.03 |
| Sin Nombre 1 | 6,287.22 | 1,417.75 | 82% | 18% | 7,704.97 |
| Sin Nombre 2 | 49,487.85 | 41,985.69 | 54% | 46% | 91,473.54 |

| Colonia | Pavimentado (m ²) | Sin pavimentar (m ²) | Pavimentado (%) | Sin pavimentar (%) | Superficie total de calles |
|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|
| V8 | | 9,666.99 | 78% | 22% | 43,577.00 |
| Asentamientos Nuevos | | | | | |
| Nuevos Del Nte | 144,230.42 | 143,145.33 | 50% | 50% | 287,375.75 |
| Nuevos Del Sur | 63,965.12 | 213,894.95 | 23% | 77% | 277,860.07 |
| Gran Total | 637,523.46 | 765,291.85 | 45% | 55% | 1,402,815.31 |

Fuente: Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (mayo, 2011)

ESTADÍSTICAS POR ÁREAS GEOESTADÍSTICA BÁSICA (AGEB)

Resulta importante considerar a esta unidad espacial definida por el INEGI, por las siguientes razones:

- Permite conocer la cantidad de población total afectada en superficies no pavimentadas como en superficies pavimentadas. Los datos de población total no existen por Colonias en los datos censales del II conteo del 2005 y registrados en el sistema IRIS-SCINCE del INEGI para la ciudad de Santa Ana, Sonora.
- La AGEB ayuda a generar un indicador de Total de Habitantes/Superficie de calles no pavimentadas.
- La AGEB permite asociar el conjunto de variables censales que incluye datos socio-demográficos y socio-económicos. En total se cuenta con 32 variables censales.

El espacio urbano de la ciudad de Santa Ana, Sonora está subdividido para efectos censales en un total de 14 AGEB's. Existe una diferencia importante entre la población por AGEB y la Población Total. En la cartografía de AGEB se reporta un total de 10,593 habitantes contra un aproximado de 16,015 habitantes registrados en el último Censo de población y vivienda (2010). En conclusión, la estadística poblacional representada

por AGEB, solo representa al 66% de la población de la ciudad, estimada al año 2010. Sin embargo, este problema no afecta de ninguna manera el presente estudio. Porque para los espacios que no cuenten con estos datos poblacionales se pueden utilizar otros criterios de priorización.

La superficie estimada por AGEB, coincide con la calculada por Colonias, se tiene que un total de 765,291.88 m² de calles sin pavimentar y 637,523.46 m² de calles pavimentadas. Las cifras anteriores hacen un total de calles de 1, 402,815.34 m² de calles, de los cuales un 45 por ciento se encuentra pavimentado. Ver resultados de clasificación de calles en Mapa 2 (anexo). La tabla siguiente tiene la utilidad de ayudar a priorizar que áreas deben ser primero pavimentadas en función del número de habitantes relacionados a superficie no pavimentada.

Tabla 2. Estadísticas de pavimentación por AGEB en Santa Ana, Sonora (mayo, 2011)

| AGEB | Pavimentado (m2) | Sin pavimentar (m2) | Total | Pav (%) | Sin pav (%) | Población por AGEB |
|---------------|------------------|---------------------|------------|---------|-------------|--------------------|
| 2605800010185 | 101,042.86 | 21,837.10 | 122,879.96 | 82% | 18% | 1,452 |
| 260580001019A | 92,317.22 | 33,338.32 | 125,655.54 | 73% | 27% | 1,754 |
| 2605800010202 | 64,057.24 | 74,719.99 | 138,777.23 | 46% | 54% | 2,423 |
| 2605800010221 | 55,554.21 | 82,356.20 | 137,910.41 | 40% | 60% | 1,178 |
| 2605800010359 | 21,564.75 | 120,029.61 | 141,594.36 | 15% | 85% | 1,402 |
| 2605800010363 | 59,727.29 | 29,980.21 | 89,707.50 | 67% | 33% | 811 |
| 2605800010378 | 46,879.12 | 54,311.61 | 101,190.73 | 46% | 54% | 1,454 |
| 2605800010382 | | 9,778.34 | 9,778.34 | 0% | 100% | 111 |
| 2605800010397 | 46.42 | 259.94 | 306.36 | 15% | 85% | 8 |
| 2605800010429 | 1,358.64 | 48,851.48 | 50,210.12 | 3% | 97% | - |

| AGEB | Pavimentado (m2) | Sin pavimentar (m2) | Total | Pav (%) | Sin pav (%) | Población por AGEb |
|----------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------|-------------|--------------------|
| 2605800010433 | 631.47 | 22,708.38 | 23,339.85 | 3% | 97% | - |
| 2605800010448 | 2,855.81 | 30,509.04 | 33,364.85 | 9% | 91% | - |
| AGEB NORTE | 139,296.85 | 138,004.87 | 277,301.72 | 50% | 50% | - |
| AGEB SUR | 52,191.57 | 98,606.78 | 150,798.35 | 35% | 65% | - |
| Totales | 317,811.46 | 292,687.49 | 610,498.95 | 52% | 48% | 10,087 |

Fuente: Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (mayo, 2011)

COSTOS DE PAVIMENTACIÓN POR COLONIA

Dado que la unidad espacial conocida por la comunidad y las autoridades municipales es la "Colonia", se decidió estimar los costos utilizando este polígono. Los costos finales resultan de multiplicar los costos promedio por la superficie de calles sin pavimentar.

El desglose de costos por colonia queda como siguen en la Tabla 3. En este caso, se hace la aclaración de que existe el problema de falta de nombres de colonias aunque si se cuenta con los polígonos limítrofes de las mismas y que se poligonizaron 2 nuevos asentamientos urbanos, los cuales tendrán que cotejarse contra un mapa actualizado de colonias. Esto puede ser corroborado en el mapa digital, a fin de editarlo y hacer las correcciones en la nomenclatura pertinentes. Sin embargo, cada polígono es independiente y corresponde a una colonia en la ciudad, por lo que las estimaciones no se ven afectadas.

Los costos de pavimentación que se utilizan en la tabla 3, son los costos promedio estimados en 371.08 pesos por metro cuadrado con asfalto y de 571.20 pesos por metro cuadrado de concreto hidráulico.

Tabla 3. Costos de Pavimentación por Colonia en Santa Ana, Sonora (mayo, 2011)

| Colonia | Sin pavimentar (m ²) | Costo Concreto Hidráulico (pesos/ m ²) | Costo Concreto Asfalto (pesos/ m ²) | Concreto Hidráulico (pesos) | Asfalto (pesos) |
|-----------------------|--|---|---|-----------------------------------|--------------------|
| Bella Vista | 100,580.43 | 571.20 | 371.08 | 57,451,541.62 | 37,323,385.96 |
| Centro | 3,786.90 | 571.20 | 371.08 | 2,163,077.28 | 1,405,242.85 |
| Del Rio | 17,073.87 | 571.20 | 371.08 | 9,752,594.54 | 6,335,771.68 |
| El Mirador | 15,186.35 | 571.20 | 371.08 | 8,674,443.12 | 5,635,350.76 |
| El Polvorón | 15,887.20 | 571.20 | 371.08 | 9,074,768.64 | 5,895,422.18 |
| Fátima | 29,220.72 | 571.20 | 371.08 | 16,690,875.26 | 10,843,224.78 |
| Infonavit - Fovissste | 8,939.76 | 571.20 | 371.08 | 5,106,390.91 | 3,317,366.14 |
| Kennedy | 1,541.14 | 571.20 | 371.08 | 880,299.17 | 571,886.23 |
| Kilometro 106 | 7,645.48 | 571.20 | 371.08 | 4,367,098.18 | 2,837,084.72 |
| La Ford | 6,496.24 | 571.20 | 371.08 | 3,710,652.29 | 2,410,624.74 |
| La Granja | 5,158.05 | 571.20 | 371.08 | 2,946,278.16 | 1,914,049.19 |
| La Loma | 6,691.98 | 571.20 | 371.08 | 3,822,458.98 | 2,483,259.94 |
| Las Playitas | 9,390.74 | 571.20 | 371.08 | 5,363,990.69 | 3,484,715.80 |
| Los Arcos | 35,796.96 | 571.20 | 371.08 | 20,447,223.55 | 13,283,535.92 |
| Nvos Des Nte | 143,145.33 | 571.20 | 371.08 | 81,764,612.50 | 53,118,369.06 |
| Nvos Des Sur | 213,894.95 | 571.20 | 371.08 | 122,176,795.44 | 79,372,138.05 |
| San Isidro | 83,125.29 | 571.20 | 371.08 | 47,481,165.65 | 30,846,132.61 |
| Santa Cecilia | 8,660.03 | 571.20 | 371.08 | 4,946,609.14 | 3,213,563.93 |

| Colonia | Sin pavimentar (m ²) | Costo Concreto Hidráulico (pesos/ m ²) | Costo Concreto Asfalto (pesos/ m ²) | Concreto Hidráulico (pesos) | Asfalto (pesos) |
|-------------------|----------------------------------|--|---|-----------------------------|-----------------------|
| Sin Nombre 1 | 1,417.75 | 571.20 | 371.08 | 809,818.80 | 526,098.67 |
| Sin Nombre 2 | 41,985.69 | 571.20 | 371.08 | 23,982,226.13 | 15,580,049.85 |
| V8 | 9,666.99 | 571.20 | 371.08 | 5,521,784.69 | 3,587,226.65 |
| Gran Total | 765,291.85 | | | 437,134,704.72 | 283,984,499.70 |

Fuente: Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (mayo, 2011)

Considerando un escenario donde se alcance la cobertura faltante de pavimentación para el 100 por ciento de las calles no pavimentadas para Santa Ana, con costo promedio de 371.08 pesos/m² con asfalto y de 571.20 pesos/m² de concreto hidráulico y que fueron detectadas en la imagen satelital con fecha 08 de enero de 2011, las cifras totales requeridas serían las mostradas en el siguiente cuadro. Los mapas 4 y 5 (anexo) muestran una jerarquización de costos para asfalto y concreto respectivamente y estimado por colonia.

Cuadro 7. Análisis de Costos

| Tipo de pavimento | Superficie en m ² sin pavimentar | Costo promedio por m ² (pesos) | Costo total (pesos) |
|-------------------|---|---|---------------------|
| Asfalto | 765,291.88 | 371.08 | 283,984,510.83 |
| Concreto | 765,291.88 | 571.20 | 437,134,721.86 |

Fuente: Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (mayo, 2011)

Queda la ciudad subdividida en 19 polígonos de colonias y 2 polígonos más detectados como nuevos desarrollos y que se consideran temporalmente como áreas fuera de colonias. La información desarrollada en este proyecto ayudará al desarrollo de diferentes escenarios de costos, así como en la priorización de los programas de pavimentación.

En este proyecto, uno de los objetivos es ayudar a las autoridades correspondientes a decidir sobre las áreas prioritarias para pavimentación en Santa Ana, Sonora, por lo que se generó toda la cartografía correspondiente a cada análisis; éstas son:

- Mapa de calles pavimentadas y no pavimentadas por Colonia;
- Mapa de calles pavimentadas y no pavimentadas por AGEB;
- Mapa de costos de pavimentación con asfalto por Colonia;
- Mapa de costos de pavimentación con concreto hidráulico por colonia y
- Mapa de estadísticos de pavimentación por colonia.

Estos mapas se anexan en diversos formatos: shapes, proyectos ArcGIS (mxd), archivos jpg y archivos pdf.

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El algoritmo y metodología utilizados para extraer clasificación de calles pavimentadas y sin pavimentar en la ciudad de Santa Ana, así como las características espectrales y espaciales de la imagen satelital programada para Santa Ana, Sonora nos permite llegar a las siguientes conclusiones.

1. Para la realización del diagnóstico se contrató la programación exclusiva de una imagen satelital para la ciudad de Santa Ana, Sonora con fecha 08 de enero de 2011, logrando un análisis con un alto nivel de precisión, donde expresa mediante datos calculados las condiciones de las vialidades de Santa Ana, Sonora.
2. El conjunto de vialidades de la ciudad de Santa Ana, presenta un déficit alto de pavimentación. De tal manera que solo un 45 % de superficie, en calles cuenta con algún tipo de carpeta y principalmente asfalto en vialidades secundarias y terciarias. Esto es el 55 % de las vialidades no cuentan con ningún tipo de pavimentación. El Concreto Hidráulico normalmente se encuentra en algunas vialidades principales.
3. En función de los costos promedio estimados (371.08 pesos/m² de asfalto y 571.20 pesos/m² de concreto hidráulico, se estimó que, para pavimentar el 100 % de la superficie total de calles dentro de colonias, se requerirían 283 millones de pesos en el caso de la opción de asfalto y de 437 millones de pesos para pavimentar con concreto hidráulico.
4. El escenario de pavimentar en un 100 por ciento las vialidades es un escenario ideal difícil de alcanzar. Por lo que la metodología empleada en este proyecto, así como la cartografía de calles generada, brindan la posibilidad de generar información que sirva para priorizar los programas de pavimentación, mediante

jerarquización en función de superficies, costos y población afectada (ver mapas 3 y 4).

5. La tecnología empleada en este proyecto, basada en el uso de una imagen satelital con fecha reciente y su tratamiento con programas especializados de Sistemas de Información Geográfica (Arc GIS 9.2 y ENVI 4.5), brindan herramientas para que sean implementadas por la ciudad de Santa Ana, Sonora en sus programas de pavimentación, así como en otros programas relacionados a infraestructura y equipamiento urbano.
6. La resolución espacial de la imagen satelital de 50 cms por pixel y el uso de tres bandas espectrales, permite una supervisión visual de la clasificación en calles. Por lo que no se requiere supervisión en campo. Lo que implica un alto nivel de resolución.
7. El ambiente geo-referenciado y creado en una plataforma de Sistemas de Información Geográfica, provee un conjunto de datos vectoriales y raster que brindan la posibilidad, tanto de actualizar como derivar más cartografía temática para la ciudad de Santa Ana. Además se posibilita establecer relaciones con otras bases de datos: variables e indicadores socio-económicos, socio-demográficos y ambientales en un ambiente geo-referenciado. El sistema creado para Santa Ana, está listo para seleccionar y recalcular sectores de la ciudad para ser pavimentados.
8. La calidad de la imagen, aunada con las condiciones de poca vegetación en la ciudad, en conjunto buena traza de vialidades permitieron una rápida clasificación espectral para diferenciar las calles pavimentadas de las no pavimentadas.

Referencias

BECC-NADBank, 2008. Border Environment Cooperation Commission Air Quality and Street Paving Project in Nuevo Laredo, Tamaulipas. Board Document BD 2008-43; BECC Certification Document. December 16.

Canadá Center for Remote Sensing (2008). Optical Imaging Systems Information Extraction from High Resolution Satellite Images. Available in http://nrcan.gc.ca/optic/high/infoext_e.php

COCEF, 2003. Programa Integral de Pavimentación y Calidad del Aire del Estado de Baja California. Documento disponible en:
http://www.cocef.org/aproyectos/excomBajaCalifornia2003_04esp.htm

Consejo Nacional de Población (CONAPO). De la población en México 2005-2050. <http://www.conapo.gob.mx/00cifras/pry/localidad.xls>

Gao and L. Wu. NETWORKS IN URBAN AREAS FROM IKONOS IMAGERY BASED ON SPATIAL REASONING. School of Geography and Environmental Science, University of Auckland, Auckland, New Zeland. jg.gao@auckland.ac.nz

Guindon, B., 1997. Computers-Based Aerial Image Understanding: A Review and Assessment of its Application to Planimetric Information Extractation from Very High Resolution Satellite Images. Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 23, p.p. 38-47.

Hernández et al (2000). Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua. Salud Pública de México/ Vol. 42, no. 4, julio-agosto 2000.

Herold, et al (2008). Spectrometry and hyperspectral Remote Sensing of Urban Road Infraestructure. 29 pp. Disponible en: <http://satijournal.tcom.ohiou.edu/pdf/herold.pdf>

INEGI (2010). XVII Censo de Población y Vivienda. IRIS-SCINCE, Santa Ana, Sonora.

Jensen J.R., and Cowen, D.C. 1999. Remote sensing of Urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 65(5):611-622.

Quatrochi, D.A. and Weng, Q. 2007. Urban Remote Sensing. CRC Press. Taylor & Francis Group. 412 pp.

Usher, J.M. (2000). Remote Sensing applications in transportation modeling, Remote Technology Centers Final Report, <http://www.rstc.msstate.edu/publications/proposal1999-2001.html>

Western Research Institute (2003). Pavement Construction and Maintenance Applications for Remote Sensing. June 2, 25 pp.

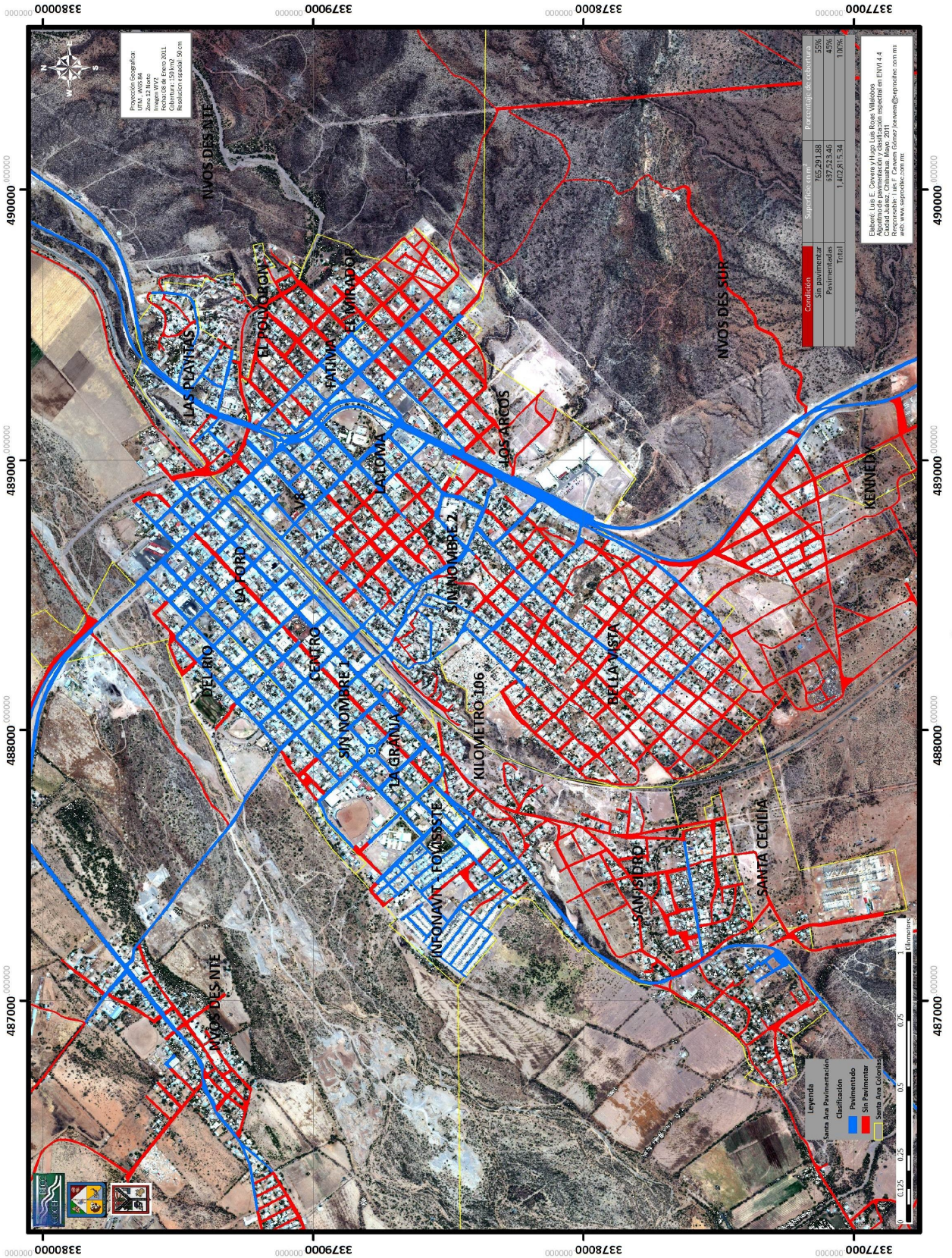
NEGI Censo de Población y Vivienda (2010). Santa Ana, Sonora. Documento disponible: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/preliminares2010.aspx>

INEGI (2010)
http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/biblioteca/default.asp?accion=2&upc=702825006401&seccionB=bd

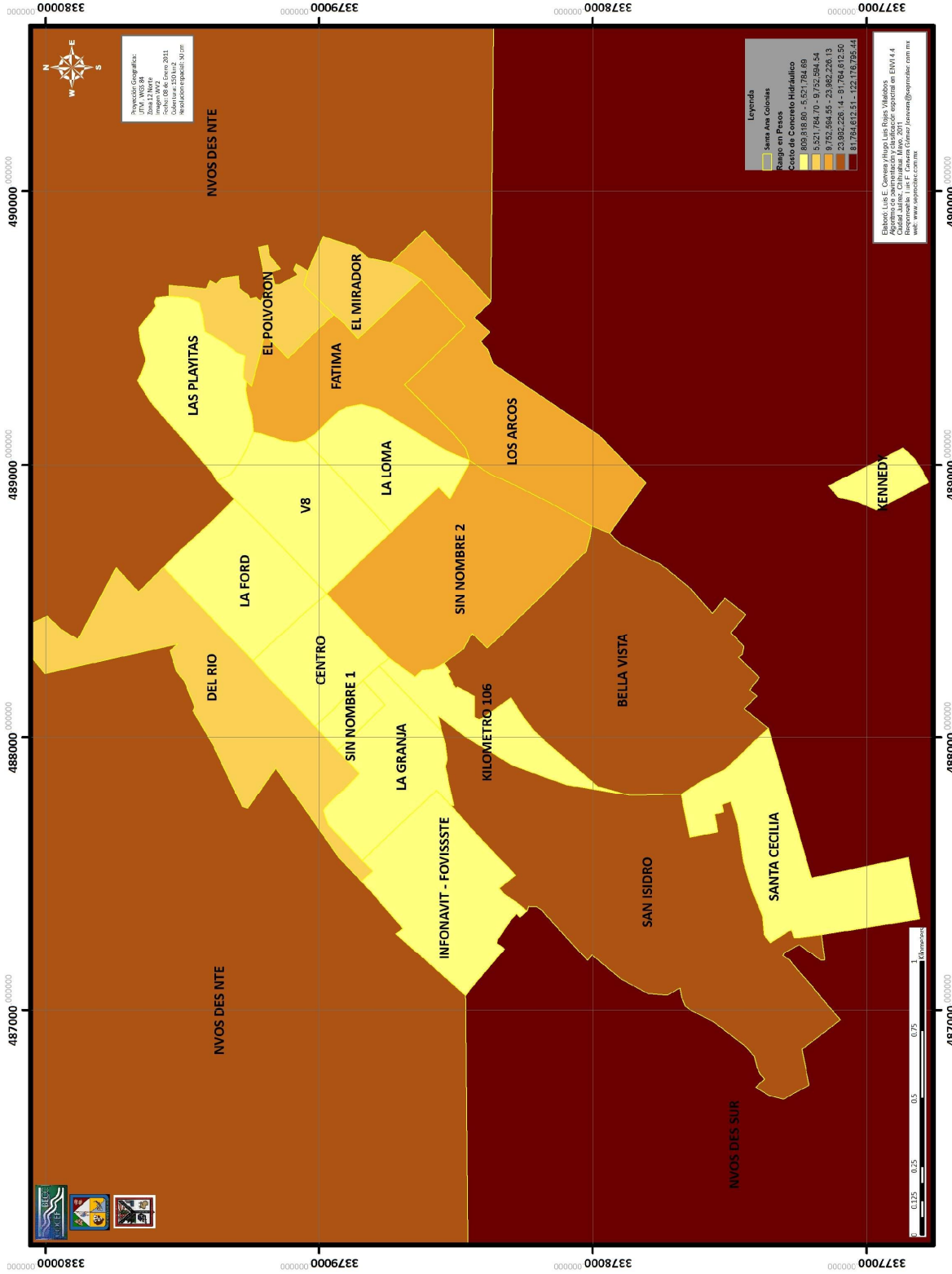
H. Ayuntamiento de Santa Ana
http://www.santaana.gob.mx/index.php?sec=noticias_ver&id=229

Enciclopedia de los Municipios de México
<http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/sonora/municipios/26058a.htm>

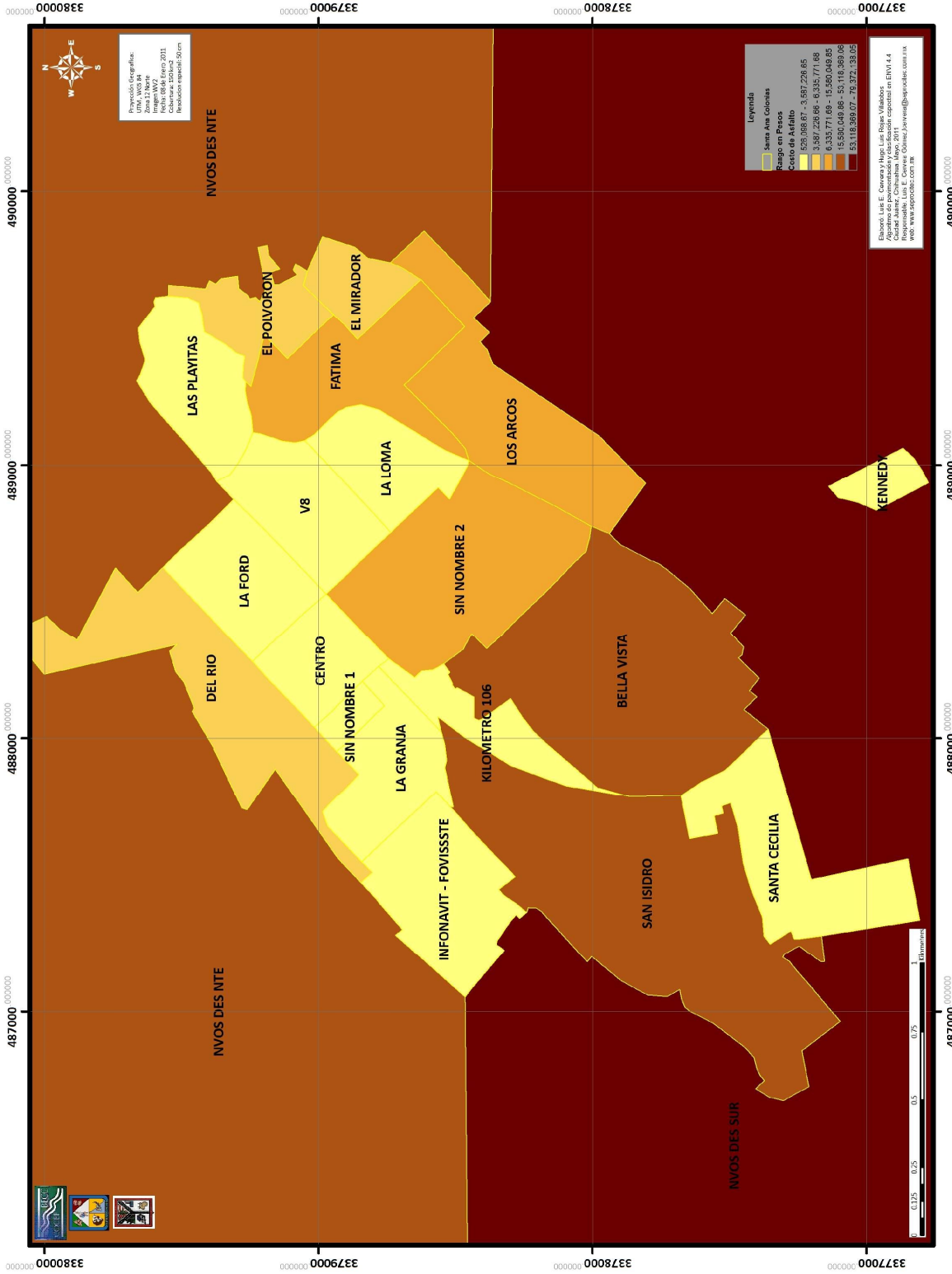
ANEXO: MAPAS DE PAVIMENTACIÓN DE
SANTA ANA, SONORA.

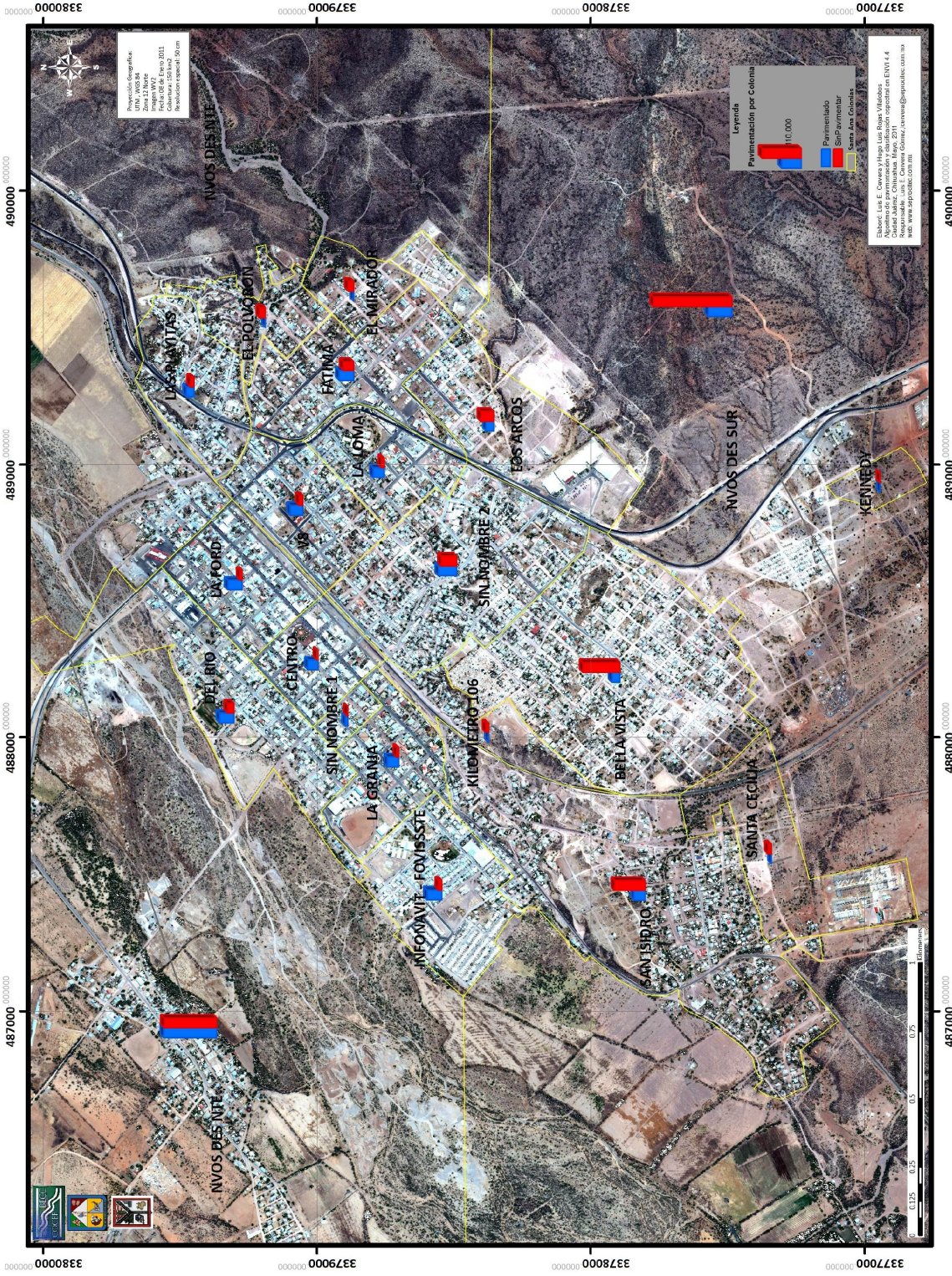


Mapa1. Condiciones de Pavimentación por Colonia en Santa, Ana Sonora.



Mapa 3. Costos de pavimentación con Concreto Hidráulico por Colonia en Santa Ana, Sonora.
Costo promedio estimado en zona Fronteriza por m2 = 571.20 pesos





Mapa 5. Superficie pavimentada y sin pavimentar por Colonia en Santa Ana, Sonora.