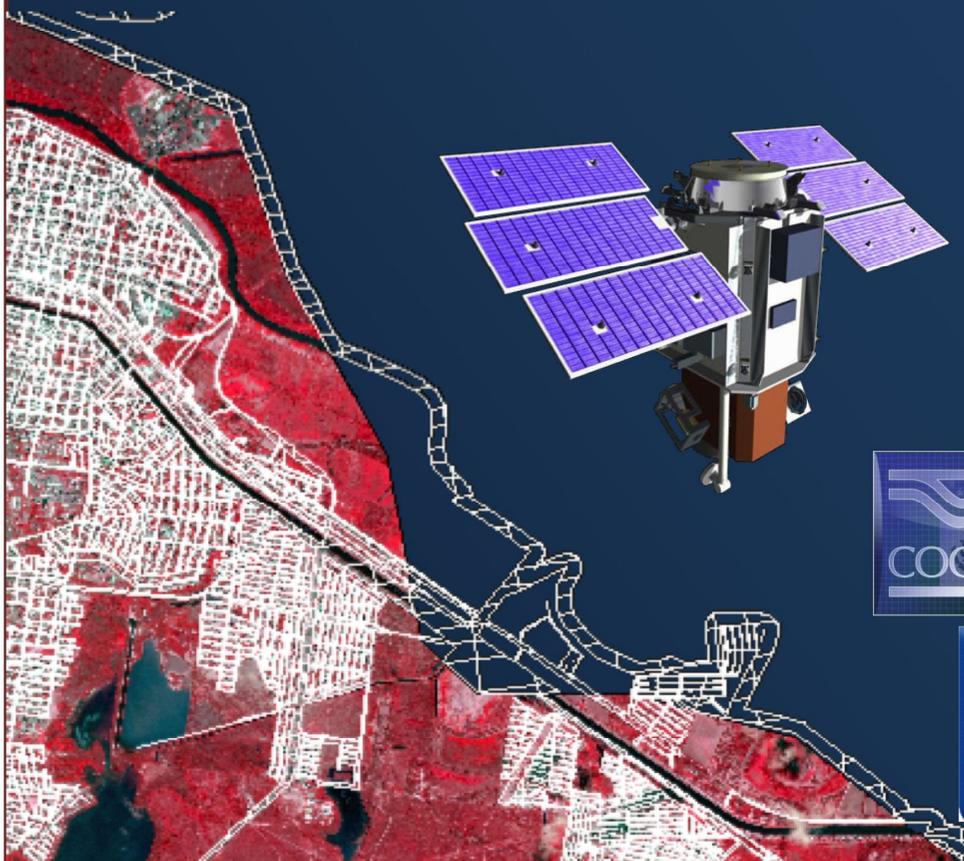


Diagnósticos de Necesidades de Pavimentación por Imágenes Satelitales para Agua Prieta, Sonora.

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



Diagnósticos de Necesidades de Pavimentación por Imágenes Satelitales para Agua Prieta, 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: 978-607-8021-42-0



© 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 Agua Prieta, Sonora / María Elena Giner, José Mario Sánchez Soledad, Luis Ernesto Cervera Gómez, Mario Vázquez Valles, Tomás Balarezo Vásquez, Armando Herrerías Velasco, Hugo Luis Rojas Villalobos.- 1ª. ed. Ciudad Juárez, Chih.: Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, 2011. 53 p.; 27 cm.

Incluye bibliografía

ISBN: 978-607-8021-42-0



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 Agua Prieta. 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 – Agua Prieta, Sonora - Diagnósticos
2. Pavimentación – Agua Prieta, Sonora - Inversiones
3. Pavimentación – Agua Prieta, Sonora – Planificación

HT169.A48 S652 2011

Contenido

	<i>Pag.</i>
Introducción	5
Principales hallazgos del Diagnóstico	7
Objetivos	8
Agua Prieta, Sonora	9
Antecedentes sobre pavimentación	12
Impactos	13
Metodología	15
Resumen de Resultados	21
Resultados: Costos y Estadísticas	22
Tablas de resultados por Colonia	24
Estadísticas por AGEB	28
Costos de pavimentación por Colonia	35
Estimación de precios unitarios	39
Conclusiones y consideraciones finales	43
Referencias Bibliográficas	46
Anexo Mapas Pavimentación	48

INTRODUCCIÓN

El presente “Diagnóstico de Necesidades de Pavimentación por Imágenes Satelitales para la ciudad de **“Agua Prieta, 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; Magdalena; Puerto Peñasco; Caborca; Santa Ana; Nacozari de García e Imuris.

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 ganadera, agrícola e industrial. La ciudad de Agua Prieta, Sonora, gracias a su posición geográfica, se ha desarrollado potencialmente el sector de ganadería como principal fuente de trabajo; aunado, la industria maquiladora ofrece empleo a un aproximado del 20% de la población.

De tal suerte que la ciudad de Agua Prieta, 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 y 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 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 Agua Prieta. 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 la ciudad de Reynosa, Tamaulipas, también ya aplicado en Matamoros, Nuevo Laredo, Ciudad Victoria y Hermosillo, Sonora.

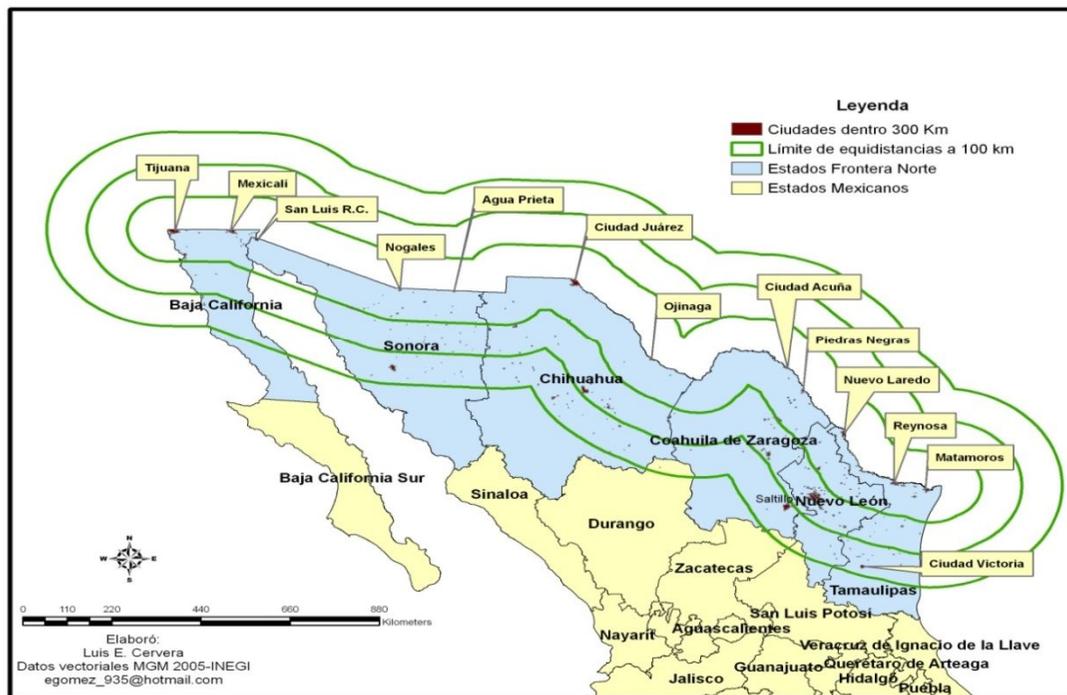


Figura 1. Frontera México Estados Unidos, Ciudades Fronterizas

PRINCIPALES HALLAZGOS DEL DIAGNOSTICO

Los resultados principales indican que Agua Prieta, Sonora cuenta con una superficie total de calles estimada en **8,313,641.95** metros cuadrados, de las cuales un total de **2,583,002.95** tienen algún tipo de carpeta ya sea asfáltica o de concreto hidráulico. Se calculó que un **31 %** de las calles están pavimentadas. Debido al análisis que se presenta en lo extenso del reporte, se estima que para el 69% restante, se indica que no presenta ningún tipo de cobertura de pavimentación, dando como resultado la necesidad de inversión de 2.1 mil millones de pesos en el caso de la opción de asfalto y de 3.2 mil millones de pesos utilizando cobertura de concreto hidráulico.

Las calles sin pavimentar totalizan una superficie de **5,730,639.00** metros cuadrados, representando ésta cifra un 69 % de la superficie total de calles. Considerando la

población del censo del INEGI 2010 especifica un total de 74,726 habitantes, con estas cifras se puede estimar un indicador de 34.56 m² de superficie pavimentada por habitante.

OBJETIVOS

Objetivo principal:

Estimar las superficies totales de calles sin pavimentar y pavimentadas en la ciudad de Agua Prieta, 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 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

Agua Prieta, Sonora.

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

Agua Prieta, Sonora

Agua Prieta Municipio número 002 del Estado de Sonora, ocupa el 9.2% de la superficie del Estado. Se encuentra localizado en la zona norte del estado mexicano de Sonora, colinda al norte con Estados Unidos de América, al este con el estado de Chihuahua y Sinaloa; al sur con Sinaloa y el Golfo de California; al oeste con el Golfo de California y Baja California (ver Figura 2).

Por sus coordenadas geográficas se localiza en el paralelo $32^{\circ} 29'$ de latitud norte, al sur $26^{\circ} 18'$, al este $108^{\circ} 25'$ y al oeste $115^{\circ} 03'$. Se encuentra a una elevación 1220 metros sobre el nivel del mar.

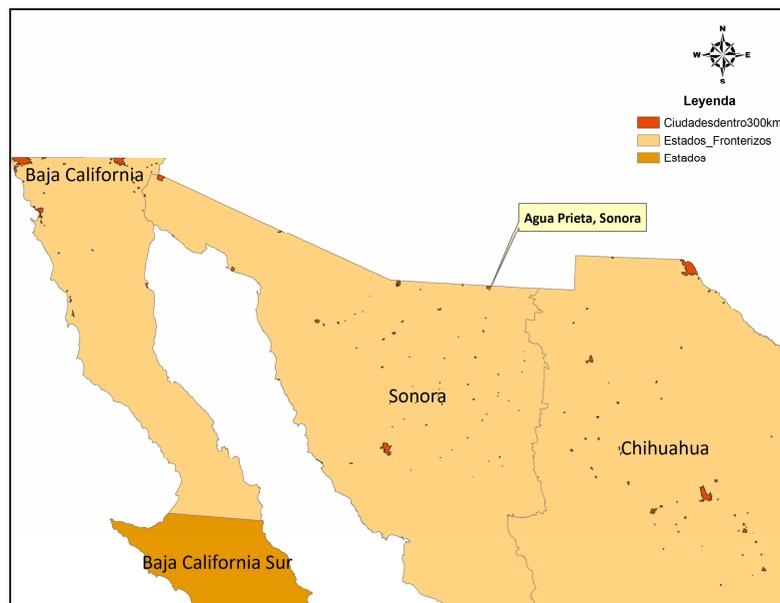


Figura 2. Localización de Agua Prieta, Sonora.

Demografía, equipamiento y servicios

De acuerdo con el último conteo de Población y Vivienda (2005), la Ciudad de Agua Prieta, Sonora contaba con una población de 70,313 habitantes. En la proyección de población hecha por CONAPO se deduce que al año 2011 la población aproximada sería estimada en 75,384 habitantes. La misma proyección indica un aumento de población aproximado a 81,555 habitantes al año 2030. La población estimada al año 2010 reside en un total 79,144 con 20,436 viviendas habitadas; con una densidad de 3.87 habitantes por vivienda (Censo Población y Vivienda 2010).

En materia de infraestructura urbana y equipamiento de servicios en las viviendas, del SINCE 2005 se tiene que en la ciudad de Agua Prieta, Sonora un 2% de las viviendas habitadas no disponen de agua entubada en la red pública, estas viviendas se encuentran principalmente ubicadas al sur, siendo críticos los AGEBS 10527, 10739, 10724 y 12082 entre otros. Se estima además que un 1% de las viviendas habitadas no disponen de drenaje. Son los AGEB's 10527, 10724, 12082 y 12044 entre otros.

Otras cifras indican que el 93% de las viviendas disponen de energía eléctrica. En general el 90% de las viviendas habitadas disponen de agua entubada a la red pública, drenaje y energía eléctrica. En términos del espacio urbano, la cobertura de servicios es regular.

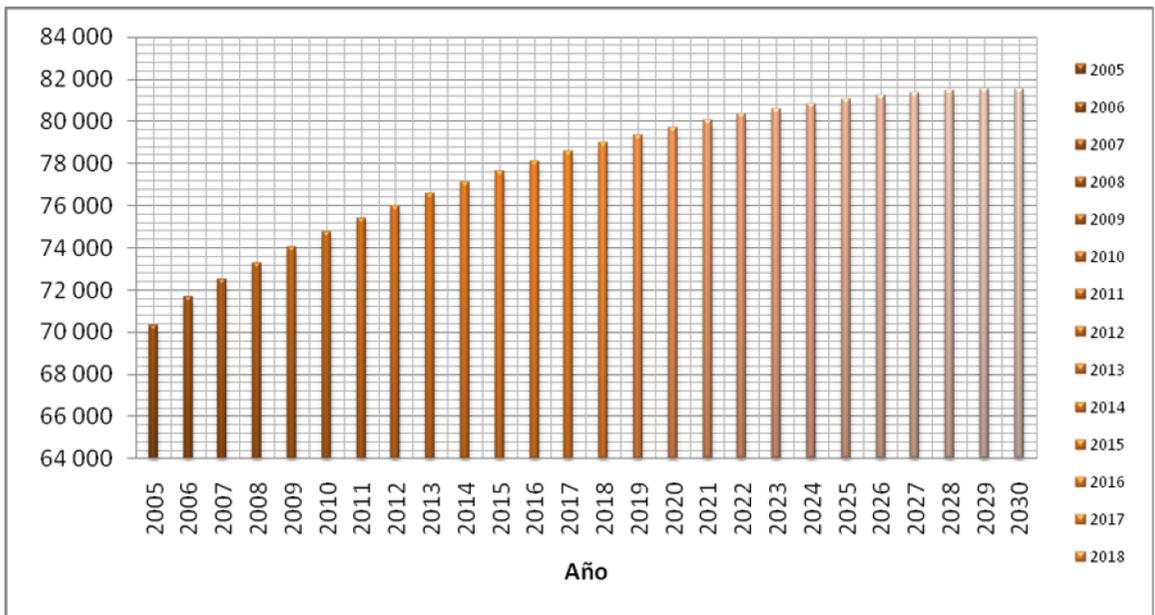


Figura 3. Proyección de población para la Ciudad de Agua Prieta, Sonora

Fuente: Consejo Nacional de Población (CONAPO)

Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (enero 2011)

Conformación urbana: Colonias y AGEB's

La ciudad de Agua Prieta, Sonora se encuentra conformada por 46 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.

Existe un desfase temporal importante en la conformación de los polígonos de Colonias. El archivo de colonias reportada por el INEGI se ha quedado rezagado en cuanto al gran crecimiento o expansión de la mancha urbana. De tal manera que la cartografía del año 2005 reporta un total de 50 colonias con nomenclatura.

En este proyecto 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 3 nuevos asentamientos urbanos; estos quedaron distribuidos de la siguiente manera:

- Nuevos Desarrollo Este
- Nuevos Desarrollo Oeste
- Nuevo Desarrollo Sur

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 ella; esto es, sin requerir levantamiento de información con brigadas de personal en 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.

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 y 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 de 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 eminentes 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 una fuerte carga vehicular sobre una gran superficie de calles 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 y lo cual equivale a 53,689 toneladas 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 relacionaba a una superficie no pavimentada del 38 %. 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 % (17,860 toneladas anuales) son producto del tránsito vehicular sobre calles sin pavimentar. En ese mismo tiempo 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 y con déficits muy serios en materia de pavimentación; estos del orden del 50 % reportado en el último lustro y nuevas estadísticas del Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP) reportan un 40% sin pavimentar. Sumado a esto, Ciudad Juárez tiene una carga vehicular muy alta,

del orden de más de 366, 739 vehículos. Hernández et al (2000), reportan que se han presentado niveles de contaminación de hasta $378 \mu\text{m}/\text{m}^3$ de PM_{10} . Del mismo estudio de salud realizado en Ciudad Juárez encontraron asociaciones positivas entre las concentraciones de PM_{10} y el número de consultas por asma y enfermedades respiratorias.

Los caminos no pavimentados normalmente 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 de guarniciones, mismas que tienen una función muy importante para la seguridad del peatón y la seguridad de las viviendas.

En la ciudad de Agua Prieta el pasado mes de Marzo de 2010 se inicio la inversión de pavimentación en 55 millones de pesos para dar camino a una nueva etapa de desarrollo económico y social para beneficio de la ciudad.

El director de Obras Públicas, Jesús Gálvez Enríques durante el recorrido realizado por lo que sería la primera colonia en pavimentarse (Nuevo Sonora) destacó que son 183 mil metros cuadrados de concreto hidráulico los que se aplicarán en las vialidades.

Este material cuenta con una vida útil de 15 años y los costos de su mantenimiento son bajos en relación a otros materiales como el asfalto.

Actualmente son 70 personas las que están trabajando en las obras de la llamada "colonia inteligente" entre personal del Municipio, la compañía cementera Apasco y la empresa que ganó la licitación para el proyecto, Estructuras y Servicios de Ensenada S.A. de C.V..

METODOLOGÍA

Para la estimación de los indicadores de pavimentación que involucran superficie y longitud de calles, así como costos se requiere de la adquisición de imágenes con las características de alta resolución espacial y espectral, ésta metodología se aplicó con éxito en cuatro ciudades de Tamaulipas y utilizando imágenes del sensor satélite Quick Byrd. Estos datos nos brindan un tamaño de pixel de .61 metros; resolución espacial ya probada para el análisis de calles pavimentadas.

Para el caso de Agua Prieta 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. Considerando una calle terciaria promedio de 12 metros de ancho por 100 de largo, o bien $1,200 \text{ m}^2$, 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's). 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

especialmente 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 manzanas adquiere el valor de “cero”, quedando con valor de “uno” correspondiente a calles. Por último, se multiplica el archivo binario por la imagen, dando como resultado una imagen de calles para la ciudad.

El procedimiento anterior elimina drásticamente el ruido que se genera al clasificar mediante procesos de clasificación supervisada a la imagen completa. Dado que evita confundir los valores de pixeles al interior de las manzanas con los pixeles 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 muy 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 (multiespectral) de la más alta resolución espacial. Opera a una altitud de 770 kilómetros. Las imágenes pancromáticas tiene una resolución de 46 centímetros y 1.84 cm de resolución multiespectral. 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 DIGITAL GLOBE.



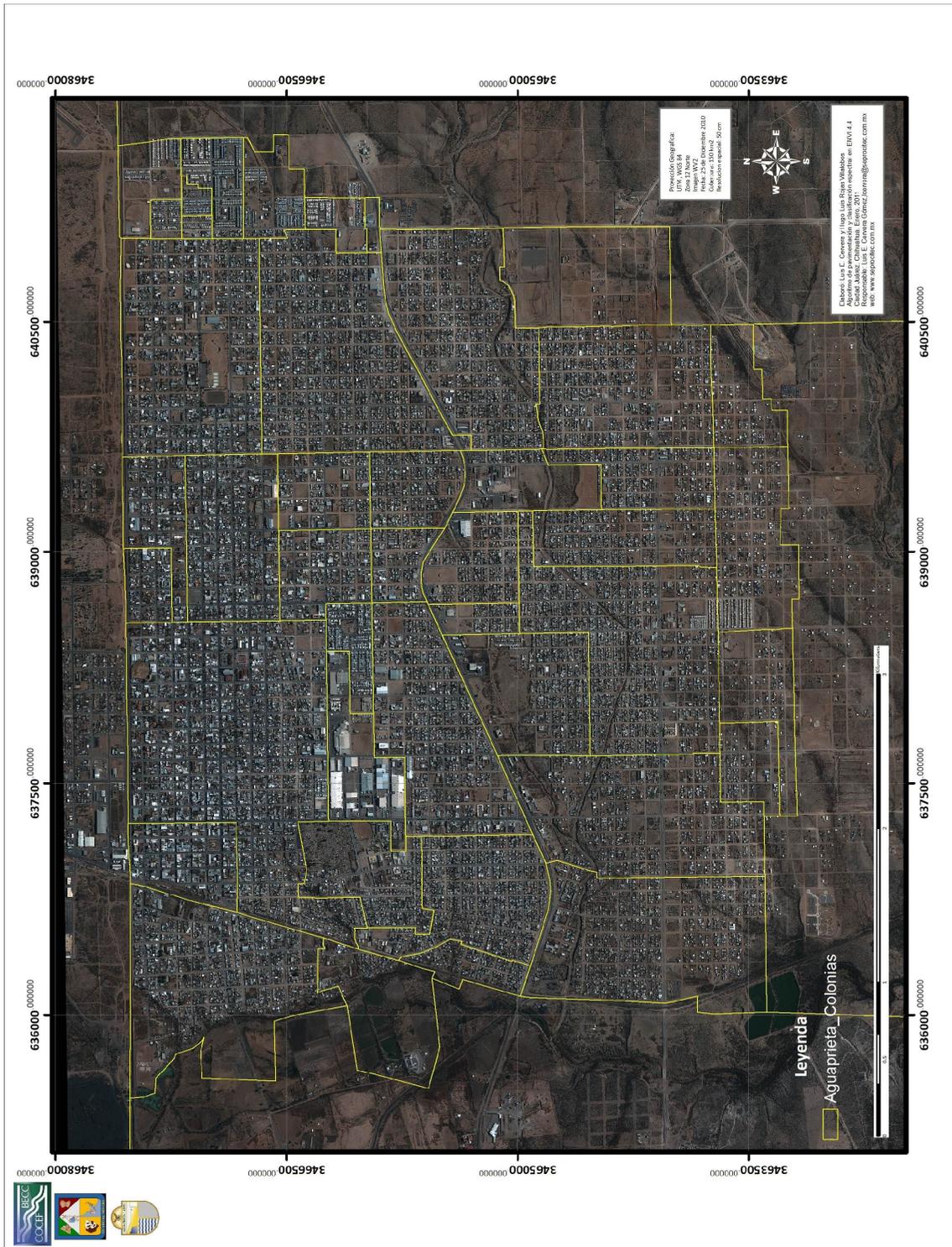
Figura 4. Satélite World View 2

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

La imagen trabajada en este proyecto fue programada a solicitud de la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza por la empresa Digital Globe para registrar la ciudad de Agua Prieta, Sonora el 25 de diciembre 2010. Está conformada por un mosaico de tres escenas cubriendo una superficie total de 150 kilómetros cuadrados (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 Agua Prieta, vigentes al mes de diciembre 2010. 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 cuenta con un proceso de supervisión práctico de los resultados y en su caso su edición y corrección. El proyecto de Arc GIS, puede ser consultado en conjunto con la imagen y los resultados de clasificación satelital. Es posible detectar como la alta resolución espacial de la imagen (4,800 pixeles por calle) ayudó a conformar la calle.

Figura 5. Cobertura de imagen World View de Agua Prieta, Sonora.25 de Diciembre 2010



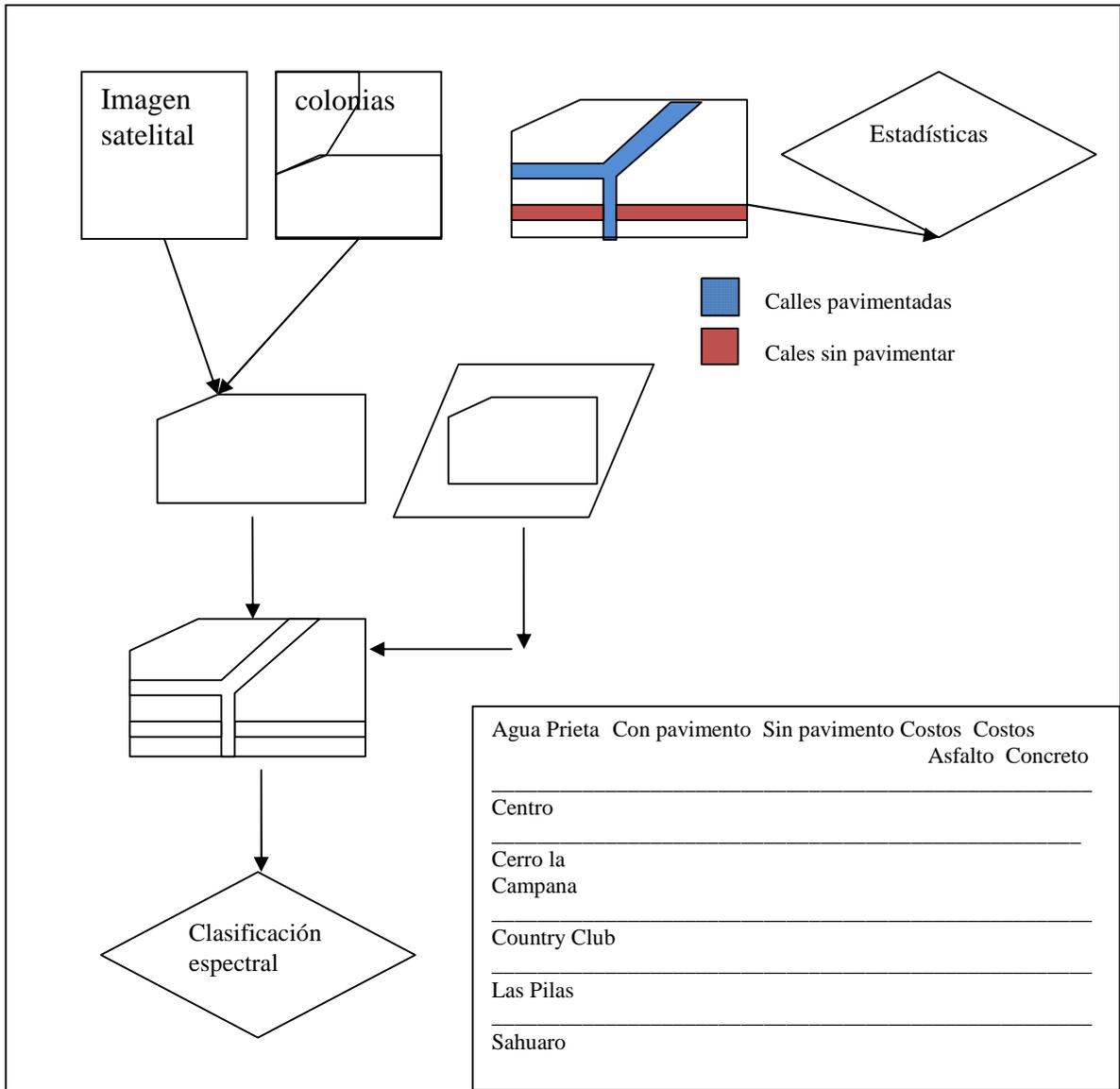
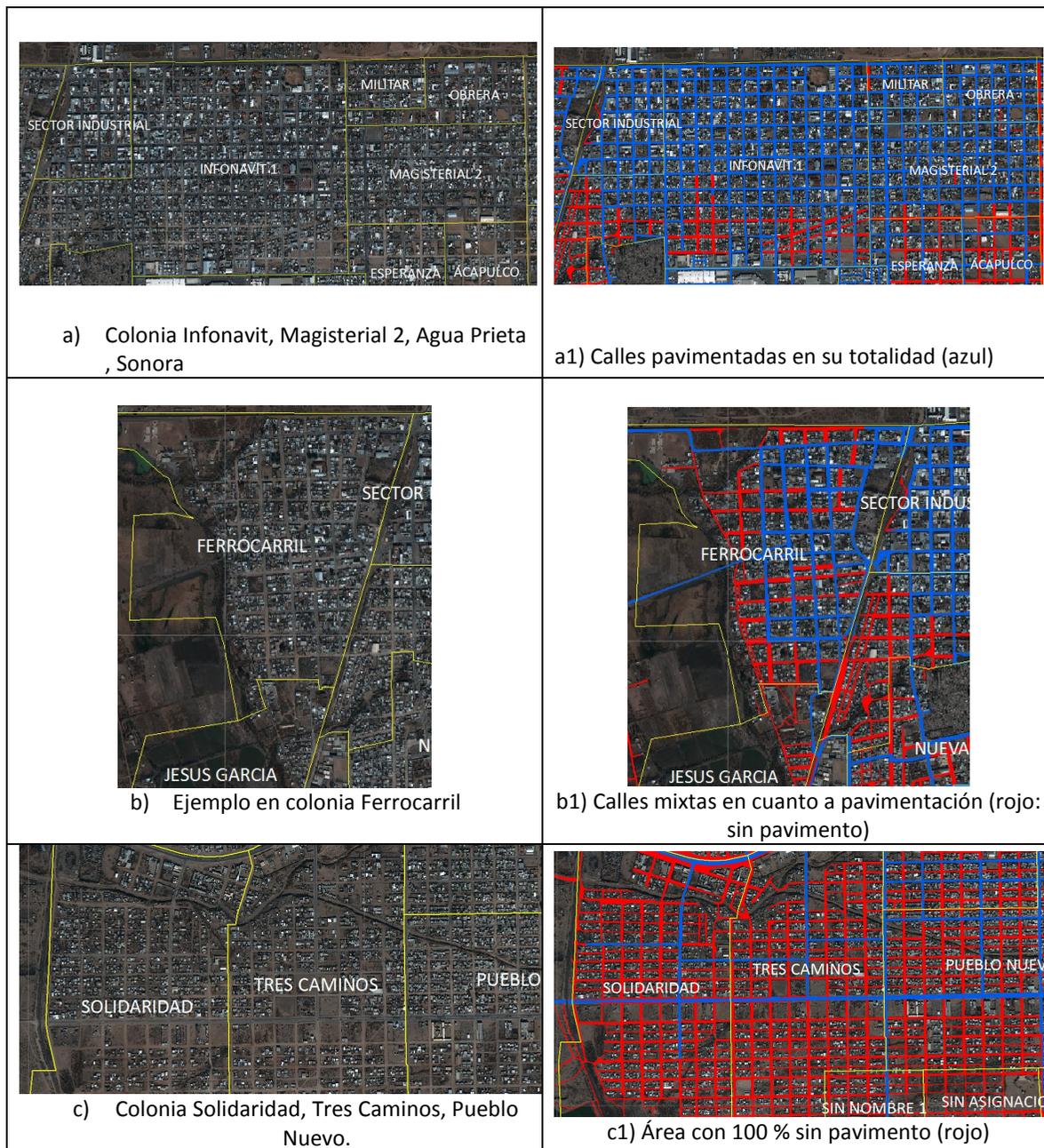


Figure 6. Algoritmo propuesto para clasificación de pavimentación

Figura 7. Ejemplos de la diversidad del estatus de pavimentación en Agua Prieta, Sonora..



RESUMEN DE RESULTADOS

El actual diagnóstico de pavimentación de la Ciudad de Agua Prieta, Sonora realizado en este proyecto, 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/píxel) programada para una fecha reciente (25 de diciembre de 2010) hizo posible realizar un inventario de calles muy reciente y estimarlo en un corto plazo de tiempo (un mes). La resolución del píxel 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 píxeles de información por 200 píxeles de largo. Esto es 4,800 píxeles por calle. Esta situación nos conduce a precisiones mayores al 95 por ciento.

El presente diagnóstico indica que la Ciudad de Agua Prieta, Sonora cuenta con una superficie total de calles estimada en **8,313,641.95** metros cuadrados; de los cuales un **69%** no cuenta con ningún tipo de pavimento en su superficie. Un **31%** cuenta con algún tipo de revestimiento (cuadro 1). Los resultados se presentan en tablas estadísticas relacionadas a un total de 115 Áreas Geo-estadísticas Básicas y a un total de 46 polígonos de colonias.

Cuadro 1. Estadísticas de superficie en calles y su cobertura en Agua Prieta, Sonora (Enero, 2011)

Condición	Superficie en m ²	Porcentaje de cobertura
Sin pavimentar	5,730,639.00	69%
Pavimentadas	2,583,002.95	31%
Total	8,313,641.95	100%

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

La superficie de calles sin pavimentar que quedan dentro de polígonos de colonias establecidas es de un total de **3,531,884.94** m², adicionalmente existen un total de

2,198,754.06 m² de calles sin pavimentar fuera de estos límites, o bien consideradas en este análisis como asentamientos nuevos (3 en total).

El costo de pavimentar con asfalto fue estimado en 371.08 pesos por metro cuadrado y de 571.20 pesos por metro cuadrado con concreto hidráulico. Considerando las estadísticas de superficie de calles y los costos de pavimentación tenemos los siguientes montos requeridos para pavimentación de Agua Prieta, Sonora (ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Costos por tipo de pavimentación para Agua Prieta, Sonora (enero, 2011)

Cobertura	Asfalto (pesos)	Concreto Hidráulico (pesos)
Polígonos de colonias	\$2,126,525,519.38	\$ 3,273,340,995.66

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

El algoritmo y los procesos de clasificación espectral de pavimentación se realizaron en dos plataformas de Sistemas de Información Geográfica: ENVI 4.5 y Arc GIS 9.3. El conjunto de datos generados se encuentran en versión digital y podrán ser utilizados para su actualización de superficies y en costos para la ciudad de Agua Prieta, Sonora.

El algoritmo y los procesos de clasificación espectral de pavimentación se realizaron en dos plataformas de Sistemas de Información Geográfica: ENVI 4.5 y Arc GIS 9.3. El conjunto de datos generados se encuentran en versión digital y podrán ser utilizados para su actualización de superficies y en costos para la ciudad de Agua Prieta, Sonora.

RESULTADOS: COSTOS y ESTADÍSTICAS

Los costos fueron calculados por la Dirección de Desarrollo Urbano y Obras Públicas de la Ciudad de Agua Prieta y representa los costos actualizados al mes de enero del año 2011 (cuadro 3).

Cuadro 3. Costo del asfalto y el concreto hidráulico; estimado en pesos por metro cuadrado y vigente al 31 de enero 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 Río 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.

Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (enero, 2011)

Con los costos descritos en el cuadro anterior se procedió a calcular los costos de pavimentación para la ciudad de Agua Prieta, Sonora. En el escenario de pavimentar el 100 por ciento de las calles sin algún tipo de cubierta los costos se requeriría una inversión total de **\$2,126,525,519.38** de pesos con la opción de asfalto contra **\$3,273,340,995.66** de pesos con concreto hidráulico. El escenario de pavimentar con concreto hidráulico es poco factible, los programas de pavimentación normalmente 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 43 polígonos relacionados a una colonia con nomenclatura, además con 3 polígonos más considerados como “asentamientos nuevos” y en los que aparentemente no cuentan con nomenclatura de colonia. En total se encontró una superficie de **8,313,641.95 m²** de calles, de las cuales **5,730,639.00 m²** no cuentan con ningún tipo de pavimento y un total de **2,583,002.95 m²** están pavimentados. En total, la ciudad de Agua Prieta cuenta con el **31%** de sus calles con pavimento y un **69 %** 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: Nuevos Desarrollos Oeste, Pueblo Nuevo, Salsipuedes, Ejidal, Luis Donaldo Colosio, Cueva de los Leones, Nuevo Progreso, Buenos Aires, Jesús García Tres Caminos, Solidaridad, Vildosola, Valles Duarte, Sin Nombre 1, Nuevos Desarrollos Este, Sin Asignación en nombre de Asentamiento, Ladrillera, Sin Nombre 3, Sin Nombre 2, Nuevos Desarrollos Sur, Bachicuy.

Destacan con bajo porcentaje sin pavimentación (por abajo del 70%) las colonias: Infonavit Industrial, Infonavit Alamito, Obrera, Sector Industrial, Militar, Magisterial 2, Industrial, Infonavit 1, Valle Bonito 1, Manuel J. Clourtier, Ferrocarril, Deportiva, Lomas Sol, Valle Bonito 2, Sin Nombre 4, Sin Nombre 5, Esperanza, Ibarrola, Beltrones, Ejidal 1, Vallarta, Magisterial 1Nueva, López Nogales.

Tabla 1. Superficies pavimentadas y sin pavimentar por polígonos de Colonias de Agua Prieta, Sonora (enero, 2011)

Colonia	Pavimentado (m2)	Sin pavimentar (m2)	Pavimentado (%)	Sin pavimentar (%)	Superficie total de calles
Acapulco	30,613.67	53,876.74	36%	64%	84,490.41
Bachicuy	-	119,646.11	0%	100%	119,646.11
Beltrones	13,938.24	15,872.72	47%	53%	29,810.96
Buenos Aires	23,006.64	103,978.69	18%	82%	126,985.33
Cueva De Los Leones	8,958.91	31,142.15	22%	78%	40,101.06
Deportiva	188,889.16	140,477.79	57%	43%	329,366.95
Ejidal	52,576.67	140,120.57	27%	73%	192,697.24
Ejidal 1	127,009.29	169,462.89	43%	57%	296,472.18
Esperanza	39,425.46	44,503.27	47%	53%	83,928.73
Ferrocarril	129,851.35	88,833.57	59%	41%	218,684.92
Ibarrola	21,911.33	24,882.40	47%	53%	46,793.72
Industrial	52,888.54	7,117.54	88%	12%	60,006.07
Infonavit 1	412,080.99	130,030.13	76%	24%	542,111.12
Infonavit Alamito	59,294.60	785.71	99%	1%	60,080.31
Infonavit Industrial	38,197.61	29.88	100%	0%	38,227.49
Jesús García	3,547.37	16,044.87	18%	82%	19,592.24
Ladrillera	3,342.27	47,203.53	7%	93%	50,545.81
Lomas Sol	5,021.00	4,807.99	51%	49%	9,828.98
López Nogales	31,966.12	71,062.07	31%	69%	103,028.20
Luis Donaldo Colosio	118,254.07		25%	75%	

Colonia	Pavimentado (m2)	Sin pavimentar (m2)	Pavimentado (%)	Sin pavimentar (%)	Superficie total de calles
		348,047.29			466,301.35
Magisterial 1	56,304.95	79,019.81	42%	58%	135,324.76
Magisterial 2	150,676.19	13,293.85	92%	8%	163,970.04
Manuel J. Clourtier	7,074.74	3,844.02	65%	35%	10,918.76
Militar	35,870.36	2,496.68	93%	7%	38,367.03
Nueva	34,841.31	55,899.98	38%	62%	90,741.29
Nuevo Progreso	60,577.83	272,976.71	18%	82%	333,554.54
Obrera	72,709.06	1,104.55	99%	1%	73,813.60
Pueblo Nuevo	100,329.60	247,643.31	29%	71%	347,972.91
Salsipuedes	29,435.70	76,927.34	28%	72%	106,363.04
Sector Industrial	80,862.99	2,183.49	97%	3%	83,046.48
Sin Asignación En Nombre De Asentamiento	10,820.56	138,679.25	7%	93%	149,499.81
Sin Nombre 1	4,717.21	40,935.10	10%	90%	45,652.31
Sin Nombre 2	1,262.68	73,368.12	2%	98%	74,630.81
Sin Nombre 3	1,546.82	52,514.03	3%	97%	54,060.85
Sin Nombre 4	19,583.44	20,336.64	49%	51%	39,920.09
Sin Nombre 5	13,064.94	14,624.35	47%	53%	27,689.29
Solidaridad	51,686.07	260,283.94	17%	83%	311,970.00
Tres Caminos	51,639.12	240,084.56	18%	82%	291,723.68
Vallarta	24,845.88	34,136.09	42%	58%	58,981.97
Valle Bonito 1	9,874.52	4,769.32	67%	33%	14,643.84
Valle Bonito 2	7,109.91	6,993.35	50%	50%	14,103.25

Colonia	Pavimentado (m2)	Sin pavimentar (m2)	Pavimentado (%)	Sin pavimentar (%)	Superficie total de calles
Valles Duarte	29,290.75	253,878.45	10%	90%	283,169.20
Vildosola	15,320.69	77,966.11	16%	84%	93,286.80
Asentamientos nuevos					
Nuevos Desarrollos Este	128,489.19	1,184,639.88	10%	90%	1,313,129.06
Nuevos Desarrollos Oeste	223,849.99	542,098.19	29%	71%	765,948.18
Nuevos Desarrollos Sur	445.21	472,016.00	0%	100%	472,461.20
Gran Total	2,230,218.58	5,730,639.00	31%	69%	5,762,103.51

Fuente: Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (enero, 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 por superficies no pavimentadas y viviendo 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 Agua Prieta, Sonora.
- El AGEB ayuda a generar un indicador de Total de Habitantes/Superficie de calles no pavimentadas.
- El AGEB permite asociar el conjunto de variables censales que incluye datos socio-demográficos y socio-económicos. En total se cuenta con 115 variables censales.

El espacio urbano de la ciudad de Agua Prieta, Sonora está subdividido para efectos censales en un total de 115 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 68,235 habitantes contra un aproximado de 79,144 habitantes registrados en el último conteo de población y vivienda (2010). En conclusión, la estadística poblacional representada por AGEB, solo representa al 90.5 % de la población de la ciudad, estimada al año 2005. 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 5,730,639.00 m² de calles sin pavimentar y 2,583,002.95 m² de calles pavimentadas. Las cifras anteriores hacen un total de calles de 8,313,641.95 m² de calles, de los cuales un 31 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 Agua Prieta, Sonora (enero, 2011)

AGEB	Pavimentado (m2)	Sin pavimentar (m2)	Total	Pav (%)	Sin pav (%)	Población por AGEB
2600200010512	65,436.46	41,411.19	106,847.65	61%	39%	1,374
2600200010527	81,243.03	2,183.49	83,426.52	97%	3%	346
2600200010531	119,367.67	-	119,367.67	100%	0%	944
2600200010546	125,396.97	2,514.80	127,911.77	98%	2%	1,100
2600200010550	71,630.97	968.25	72,599.21	99%	1%	851
2600200010565	80,440.04	2,250.57	82,690.62	97%	3%	1,006

AGEB	Pavimentado (m2)	Sin pavimentar (m2)	Total	Pav (%)	Sin pav (%)	Población por AGEB
260020001057A	100,682.21	41,751.51	142,433.72	71%	29%	1,268
2600200010584	37,205.30	51,129.01	88,334.30	42%	58%	616
2600200010599	52,767.35	30,570.52	83,337.88	63%	37%	1,550
2600200010601	61,566.63	55,720.07	117,286.71	52%	48%	1,924
2600200010616	66,118.69	24,170.74	90,289.43	73%	27%	1,799
2600200010620	85,757.19	20,589.08	106,346.27	81%	19%	1,266
2600200010635	63,833.85	52,416.00	116,249.84	55%	45%	811
260020001064A	43,950.45	34,424.82	78,375.27	56%	44%	673
2600200010654	27,760.80	53,989.74	81,750.54	34%	66%	1,741
2600200010669	86,146.88	57,073.33	143,220.21	60%	40%	1,164
2600200010673	46,583.34	32,697.24	79,280.58	59%	41%	1,044
2600200010688	61,092.91	37,247.54	98,340.45	62%	38%	1,697
2600200010692	18,309.68	45,023.43	63,333.11	29%	71%	764
2600200010705	6,413.61	38,546.66	44,960.26	14%	86%	573
260020001071A	11,177.46	15,991.20	27,168.66	41%	59%	338
2600200010724	5,257.88	31,751.23	37,009.11	14%	86%	647
2600200010739	52,165.73	62,944.63	115,110.36	45%	55%	1,163
2600200010743	18,552.11	26,609.47	45,161.59	41%	59%	811
2600200010762	7,889.73	24,297.68	32,187.42	25%	75%	459
2600200010777	4,208.87	36,579.15	40,788.02	10%	90%	550
2600200010781	9,002.85	17,730.88	26,733.73	34%	66%	365
2600200010796	11,495.35	20,260.36	31,755.70	36%	64%	584

AGEB	Pavimentado (m2)	Sin pavimentar (m2)	Total	Pav (%)	Sin pav (%)	Población por AGEB
2600200010809	27,538.48	19,159.45	46,697.94	59%	41%	512
2600200010813	6,648.74	22,419.20	29,067.94	23%	77%	450
2600200010828	15,590.28	35,679.52	51,269.80	30%	70%	437
2600200010832	7,054.53	23,477.66	30,532.19	23%	77%	235
2600200010851	14,902.92	57,091.22	71,994.15	21%	79%	1,528
2600200010866	22,152.00	42,097.80	64,249.80	34%	66%	545
2600200010870	19,638.97	18,763.14	38,402.10	51%	49%	481
2600200010885	13,693.60	33,819.43	47,513.03	29%	71%	346
260020001089A	36,323.13	65,742.96	102,066.09	36%	64%	1,066
2600200010921	16,916.48	62,667.15	79,583.62	21%	79%	830
2600200011262	9,110.47	41,364.33	50,474.80	18%	82%	872
2600200011281	17,967.74	59,020.11	76,987.85	23%	77%	909
2600200011296	13,324.56	51,991.29	65,315.85	20%	80%	1,704
2600200011309	11,358.12	41,004.12	52,362.24	22%	78%	1,520
2600200011313	25,882.96	39,636.47	65,519.42	40%	60%	1,829
2600200011328	28,793.46	53,791.08	82,584.54	35%	65%	1,743
2600200011347	18,029.90	23,865.15	41,895.04	43%	57%	513
2600200011351	16,492.67	44,903.34	61,396.01	27%	73%	756
2600200011366	11,531.53	33,545.86	45,077.39	26%	74%	556
2600200011370	11,269.47	65,568.13	76,837.60	15%	85%	709
2600200011385	15,687.30	32,528.27	48,215.57	33%	67%	774
260020001139A	14,029.79	60,359.12	74,388.91	19%	81%	846

AGEB	Pavimentado (m2)	Sin pavimentar (m2)	Total	Pav (%)	Sin pav (%)	Población por AGEB
2600200011402	20,946.85	61,266.14	82,212.99	25%	75%	615
2600200011417	12,660.61	63,431.58	76,092.18	17%	83%	669
2600200011421	6,789.04	52,729.97	59,519.01	11%	89%	801
2600200011455	36,607.66	17,804.83	54,412.49	67%	33%	2,351
260020001146A	-	59,863.54	59,863.54	0%	100%	601
2600200011474	478.08	11,026.33	11,504.40	4%	96%	74
2600200011489	3,765.44	0.18	3,765.62	100%	0%	-
2600200011493	12,137.87	6,436.64	18,574.51	65%	35%	13
2600200011506	431.68	12,910.40	13,342.08	3%	97%	266
2600200011510	1,286.22	2,490.39	3,776.61	34%	66%	92
2600200011525	2,515.46	9,562.49	12,077.95	21%	79%	332
260020001153A	1,143.93	8,385.79	9,529.72	12%	88%	163
2600200011544	813.37	5,567.19	6,380.56	13%	87%	150
2600200011559	736.57	622.31	1,358.88	54%	46%	29
2600200011563	23,116.89	18,222.11	41,339.00	56%	44%	414
2600200011578	2,579.34	11,032.89	13,612.23	19%	81%	132
2600200011582	960.98	6,010.67	6,971.65	14%	86%	62
2600200011597	1,361.18	6,025.48	7,386.66	18%	82%	72
260020001160A	1,264.17	3,618.29	4,882.46	26%	74%	66
2600200011614	1,101.83	10,794.12	11,895.95	9%	91%	119
2600200011629	-	85,899.00	85,899.00	0%	100%	703
2600200011633	18,650.53	49,211.90	67,862.42	27%	73%	610

AGEB	Pavimentado (m2)	Sin pavimentar (m2)	Total	Pav (%)	Sin pav (%)	Población por AGEB
2600200011648	11,264.24	30,054.36	41,318.60	27%	73%	428
2600200011652	4,968.31	28,691.94	33,660.25	15%	85%	546
2600200011667	49.45	1,300.08	1,349.52	4%	96%	4
2600200011671	118.70	1,310.71	1,429.41	8%	92%	19
2600200011686	-	1,219.56	1,219.56	0%	100%	14
2600200011690	7,841.23	29,155.39	36,996.62	21%	79%	355
2600200011703	1,960.04	30,169.33	32,129.37	6%	94%	603
2600200011718	14,802.50	32,388.49	47,190.99	31%	69%	67
2600200011722	12,812.07	34,301.52	47,113.59	27%	73%	124
2600200011737	18,019.45	30,236.79	48,256.24	37%	63%	187
2600200011741	25,880.71	41,035.38	66,916.10	39%	61%	232
2600200011756	15,699.39	45,570.54	61,269.92	26%	74%	227
2600200011760	11,882.17	60,667.46	72,549.64	16%	84%	141
2600200011775	55,873.63	41,134.02	97,007.66	58%	42%	3,773
260020001178A	30,400.67	28,279.58	58,680.25	52%	48%	1,886
2600200011794	6,336.83	3,511.98	9,848.81	64%	36%	133
2600200011807	13,403.68	40,888.38	54,292.06	25%	75%	631
2600200011811	6,610.78	33,332.87	39,943.65	17%	83%	616
2600200011826	3,957.82	35,397.77	39,355.59	10%	90%	668
2600200011830	13,844.40	42,198.79	56,043.20	25%	75%	488
2600200011845	-	1,380.44	1,380.44	0%	100%	6
260020001185A	-	8,003.89	8,003.89	0%	100%	-

AGEB	Pavimentado (m2)	Sin pavimentar (m2)	Total	Pav (%)	Sin pav (%)	Población por AGEB
2600200011864	-	3,028.05	3,028.05	0%	100%	-
2600200011879	4,085.64	36,064.50	40,150.14	10%	90%	129
2600200011883	-	70,960.01	70,960.01	0%	100%	158
2600200011898	-	74,027.82	74,027.82	0%	100%	306
2600200011900	11,258.89	52,654.32	63,913.21	18%	82%	183
2600200011915	5,777.50	63,142.83	68,920.33	8%	92%	256
260020001192A	424.59	79,085.14	79,509.73	1%	99%	345
2600200011934	1,218.04	70,725.75	71,943.79	2%	98%	596
2600200011949	-	4,693.01	4,693.01	0%	100%	99
2600200011953	-	11,246.69	11,246.69	0%	100%	85
2600200011968	1.19	1,257.51	1,258.70	0%	100%	7
260020001901S	2,757.37	-	2,757.37	100%	0%	0
260020001902S	339.81	2,830.23	3,170.04	11%	89%	0
260020001903S	-	7,963.70	7,963.70	0%	100%	0
260020001904S	-	5,520.51	5,520.51	0%	100%	0
260020001905S	2,523.88	75,953.20	78,477.08	3%	97%	0
260020001906S	-	12,116.92	12,116.92	0%	100%	0
260020001907S	-	81,614.48	81,614.48	0%	100%	0
Ageb Este	129,567.97	1,182,889.66	1,312,457.63	10%	90%	0
Ageb Oeste	224,203.01	542,264.78	766,467.79	29%	71%	0
Ageb Sur	380.25	460,120.99	460,501.24	0%	100%	0
Totales	2,583,002.95	5,730,638.99	8,313,641.94			68,235

Fuente: Elaborado por Servicios Profesionales Científicos y Técnicos (Enero, 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 promedio¹ 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 3 nuevos asentamientos urbanos que 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.

Tabla 3. Costos de Pavimentación por Colonia en Agua Prieta, Sonora (Enero, 2011)

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

Colonia	Sin pavimentar (m2)	Costo Concreto Hidráulico (peso /m2)	Costo Concreto Asfalto (peso/ m2)	Concreto Hidráulico (pesos)	Asfalto (pesos)
Acapulco	53,876.74	571.20	371.08	30,774,394.46	19,992,581.05
Bachicuy	119,646.11	571.20	371.08	68,341,859.17	44,398,279.24
Beltrones		571.20	371.08		5,890,047.45

Colonia	Sin pavimentar (m2)	Costo Concreto Hidráulico (peso /m2)	Costo Concreto Asfalto (peso/ m2)	Concreto Hidráulico (pesos)	Asfalto (pesos)
	15,872.72			9,066,495.38	
Buenos Aires	103,978.69	571.20	371.08	59,392,627.73	38,584,412.29
Cueva De Los Leones	31,142.15	571.20	371.08	17,788,394.94	11,556,228.28
Deportiva	140,477.79	571.20	371.08	80,240,914.22	52,128,498.68
Ejidal	140,120.57	571.20	371.08	80,036,870.16	51,995,941.49
Ejidal 1	169,462.89	571.20	371.08	96,797,201.63	62,884,288.48
Esperanza	44,503.27	571.20	371.08	25,420,268.97	16,514,274.17
Ferrocarril	88,833.57	571.20	371.08	50,741,734.04	32,964,360.41
Ibarrola	24,882.40	571.20	371.08	14,212,824.60	9,233,359.51
Industrial	7,117.54	571.20	371.08	4,065,537.71	2,641,176.00
Infonavit 1	130,030.13	571.20	371.08	74,273,209.68	48,251,580.27
Infonavit Alamito	785.71	571.20	371.08	448,795.27	291,559.78
Infonavit Industrial	29.88	571.20	371.08	17,068.60	11,088.61
Jesús García	16,044.87	571.20	371.08	9,164,828.03	5,953,929.25
Ladrillera	47,203.53	571.20	371.08	26,962,657.48	17,516,286.65
Lomas Sol	4,807.99	571.20	371.08	2,746,323.32	1,784,148.56
López Nogales	71,062.07	571.20	371.08	40,590,656.67	26,369,714.42
Luis Donaldo Colosio	348,047.29	571.20	371.08	198,804,609.76	129,153,386.89
Magisterial 1	79,019.81	571.20	371.08	45,136,116.04	29,322,671.47
Magisterial 2	13,293.85	571.20	371.08	7,593,447.12	4,933,081.86
Manuel J. Clourtier	3,844.02	571.20	371.08	2,195,705.94	1,426,440.05
Militar		571.20	371.08		926,466.53

Colonia	Sin pavimentar (m2)	Costo Concreto Hidráulico (peso /m2)	Costo Concreto Asfalto (peso/ m2)	Concreto Hidráulico (pesos)	Asfalto (pesos)
	2,496.68			1,426,101.33	
Nueva	55,899.98	571.20	371.08	31,930,070.86	20,743,366.06
Nuevo Progreso	272,976.71	571.20	371.08	155,924,299.04	101,296,199.03
Obrera	1,104.55	571.20	371.08	630,918.39	409,876.04
Pueblo Nuevo	247,643.31	571.20	371.08	141,453,858.67	91,895,479.47
Salsipuedes	76,927.34	571.20	371.08	43,940,894.32	28,546,195.84
Sector Industrial	2,183.49	571.20	371.08	1,247,208.92	810,249.10
Sin Asignación En Nombre De Asentamiento	138,679.25	571.20	371.08	79,213,585.89	51,461,094.98
Sin Nombre 1	40,935.10	571.20	371.08	23,382,126.84	15,190,195.42
Sin Nombre 2	73,368.12	571.20	371.08	41,907,872.43	27,225,443.45
Sin Nombre 3	52,514.03	571.20	371.08	29,996,011.08	19,486,904.40
Sin Nombre 4	20,336.64	571.20	371.08	11,616,291.05	7,546,521.86
Sin Nombre 5	14,624.35	571.20	371.08	8,353,428.15	5,426,803.43
Solidaridad	260,283.94	571.20	371.08	148,674,185.96	96,586,164.08
Tres Caminos	240,084.56	571.20	371.08	137,136,298.39	89,090,577.04
Vallarta	34,136.09	571.20	371.08	19,498,533.47	12,667,219.54
Valle Bonito 1	4,769.32	571.20	371.08	2,724,233.30	1,769,797.78
Valle Bonito 2	6,993.35	571.20	371.08	3,994,598.66	2,595,090.46
Valles Duarte	253,878.45	571.20	371.08	145,015,371.78	94,209,215.97
Vildosola	77,966.11	571.20	371.08	44,534,243.75	28,931,665.21
Nuevos Desarrollos Este	1,184,639.88	571.20	371.08	676,666,296.60	439,596,164.82
Nuevos Desarrollos Oeste		571.20	371.08		201,161,797.09

Colonia	Sin pavimentar (m2)	Costo Concreto Hidráulico (peso /m2)	Costo Concreto Asfalto (peso/ m2)	Concreto Hidráulico (pesos)	Asfalto (pesos)
	542,098.19			309,646,487.27	
Nuevos Desarrollos Sur	472,016.00	571.20	371.08	269,615,537.49	175,155,696.17
Gran Total	5,730,639.00			3,273,340,994.52	2,126,525,518.64

Costos promedio Zona Fronteriza (371.08 asfalto; 571.20 concreto hidráulico)

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

Considerando un escenario donde se alcance la cobertura faltante de pavimentación para el 100 por ciento de las calles no pavimentadas para Agua Prieta, 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 25 de diciembre de 2010, 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 Comparativo de Costos, Dirección General de Desarrollo Urbano de Agua Prieta, Sonora y Costos Promedio Zona Fronteriza.

Fuente de información	Superficie en m2 sin pavimentar	Costo según Dirección de O. P. y D.U. de Agua Prieta, Sonora	Costo promedio Zona Fronteriza	Costo Pesos Dirección de O.P y D.U. de Agua Prieta, Sonora	Costo Pesos Zona Fronteriza
Asfalto	5,730,639.00	275.64	371.08	1,579,593,333.96	2,126,525,520.12
Concreto	5,730,639.00	360.66	571.20	2,066,812,261.74	3,273,340,996.80

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

Queda la ciudad subdividida en 43 polígonos de colonias y 3 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 Agua Prieta, 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.

ESTIMACIÓN DE COSTOS UNITARIOS

A fin de estimar el presupuesto de pavimentación se desarrollaron dos tablas generadoras de costos (tablas 4 y 5); mismas que fueron calculadas con todos los conceptos que normalmente se consideran en los presupuestos presentados a las ciudades en el ejercicio o concurso para el desarrollo de obra (licitaciones públicas). Estas tablas de precios unitarios pueden ser utilizadas como una opción o modelo y posteriormente actualizadas para Agua Prieta, Sonora. El ejercicio de costos requiere del desarrollo de tablas para cada opción de carpeteo: Asfalto y Concreto Hidráulico. Los costos calculados son vigentes para Agua Prieta, Sonora.

Tabla 4. Tabla Generadoras de Costos para Asfalto

PRESUPUESTO BASE PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS Y GUARNICIONES					
ASFALTO					
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
01	PRELIMINARES				
1.1	Trazo y nivelación en terracerías de subrasante, base y carpeta para el alineamiento horizontal y vertical	M ²	2.87	4,707.32	13,509.99
1.2	Trazo y nivelación para alineación horizontal y vertical en guarniciones.	M	2.87	796.50	2,285.96
					\$15,795.95
02	TERRACERIAS				
	Excavación tipo cajón de calles para dar nivel de subrasante en material "B", utilizando maquinaria, medido compacto, incluye sección de corona para alojar guarniciones.	M ³	39.31	1,146.84	45,082.28
2.2	Formación de capa subrasante de 15 cm de espesor. Inc. escarificar, acamellonar, incorporación de humedad, homogenización, tendido y compactado al 100% de su (ASSHTO modificado), volumen medido compacto.	M ³	45.56	706.10	32,169.79
2.3	Formación de terraplenes con mat. Prod. De excavación compactados al 95% de su P.V.S.M. Inc. homogenización, papeo, tendido, compactado y agua para su compactación.	M ³	45.56	94.27	4,294.94
					\$81,547.01
03	ACARREOS				
3.1	Carga mecánica y acarreo en camión de material producto de excavación demolición, a un kilómetro de distancia medido compacto. Demolición, a un kilómetro de distancia medido compacto.	M ³	35.24	1,146.84	40,414.64
3.2	Acarreo en camión de material producto de excavación o demolición en kilómetros subsecuentes al primero.	M ³ -KM	6.46	5734.20	37,042.93
3.3	Acarreo en camión de base hidráulica al sitio de colocación en el primer kilómetro zona urbana, medido compacto, incluye carga.	M ³	35.24	552.93	19,485.26
3.4	Acarreo en camión de base hidráulica en kilómetros subsecuentes al primero. Medido compacto.	M ³ -KM	6.46	5529.30	35719.30
					\$132,662.13
04	PAVIMENTOS				
4.1	Suministro y Formación de capa de base hidráulica con espesor de 0.13 compactada al 100% de su P.V.S.M. Inc., incorporación de humedad, homogenización, tendido, agua para compactar, medido compacto. No incluye carga ni acarreo. Compactada al 100% de su P.V.S.M. Inc., incorporación de humedad, homogenización, tendido, agua para compactar, medido compacto. No incluye carga ni acarreo.	M ³	196.54	552.93	108,672.92
4.2	Riego de impregnación con emulsión R-R a razón de 1.50 lts./m2 incluye almacenamiento, bombeo, acarreo locales y foráneos, calentamiento, barrido y aplicación.	M ²	16.60	4,253.31	70,604.95

PRESUPUESTO BASE PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS Y GUARNICIONES					
ASFALTO					
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
4.3	Riego de liga con emulsión R-R a razón de 0.50 lts./m2 incluye almacenamiento, bombeo, acarreos locales y foráneos, calentamiento, barrido y aplicación	M²	9.18	4,253.31	39,045.39
4.4	Suministro y colocación de carpeta asfáltica caliente de 4 cms. de espesor compacto. Materiales, fabricación, carga y acarreos desde la planta a la obra, extendido con finisher y compactado al 95% de su P.V.M. medido compacto.	M²	123.00	4,253.31	523,157.13
4.5	Dentellón de concreto hidráulico f'c=250 kg/cm2. Inc. Trazo, nivelación, Mats., cimbra, descimbra, colado, vibrado, curado, junta de contracción y expansión.	M	353.02	53.40	18,851.27
4.6	Construcción de vado de concreto hidráulico f'c= 250 kg/cm2 de espesor de 15 cm con TMA de 3/4" y NC. Fibra, aditivos, corta losas de junta de construcción, curado, vibrado y acabado total.	M²	315.25	0.00	0.00
					\$760,331.65
GUARNICIONES					
5.1	Guarnición de concreto tipo "L", f'c=150 kg/cm2 TMA=38 mm. Incluye concreto, juntas, cimbrado y descimbrado, colado, vibrado, curado con curacreto blanco,excavación, acostillamiento y relleno de banquetas..		274.95	528.00	145173.60
5.2	Guarnición de concreto tipo "Patin", f'c=150 kg/cm2 TMA=38 mm. Inc. Mats., juntas, cimbrado, descimbrado, vibrado, colado y curado con curacreto blanco, excavación,acostillamiento y relleno,desplantado sobre terreno natural, compactado al 95% de suP.V.S.M., no incluye rampa de acceso		222.15	112.00	24880.80
5.3	Curva de Guarnición de concreto tipo "L", f'c=150 kg/cm2 TMA=38 mm. Inc. Mats.,juntas, cimbrado, descimbrado, colado, vibrado y curado con curacreto blanco,excavación, acostillamiento y relleno, desplantado sobre terreno natural, compactado al 95% de su P.V.S.M., no incluye rampa de acceso.		854.76	10.00	8547.60
					\$178,602.00
Costo Promedio					\$275.64

Tabla 5.Tabla Generadora de Costos para Concreto Hidráulico

PRESUPUESTO BASE PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS Y GUARNICIONES DE CONCRETO HIDRAULICO					
CONCRETO HIDRAULICO					
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
1	PRELIMINARES				
1.1	Trazo y nivelación en terracerías de subrasante, base y carpeta para el alineamiento horizontal y vertical.	M ²	2.87	7092.00	20,354.04
1.2	Trazo y nivelación para alineación horizontal y vertical en guarniciones.	M	2.87	1200.00	3444.00
2	TERRACERIAS				
2.1	Excavación tipo cajón de calles para dar nivel de subrasante en material "B", utilizando maquinaria, medido compacto, incluye sección de corona para alojar guarniciones.	M ³	39.31	1,378.01	54,169.57
2.2	Formación de capa subrasante de 15 cm de espesor. Inc. escarificar, acamellonar, incorporación de humedad, homogenización, tendido y compactado al 95% de su (ASSHTO modificado), volumen medido compacto.	M ³	45.56	1063.80	48,466.73
2.3	Formación de terraplenes con mat. Prod. De excavación compactados al 90% de su P.V.S.M. Inc. homogenización, papeo, tendido, compactado y agua para su compactación.	M ³	45.56	249.47	11,365.85
3	ACARREOS				
3.1	Carga mecánica y acarreo en camión de material producto de excavación demolición, a un kilómetro de distancia medido compacto.	M ³	38.76	1,378.01	53,411.67
3.2	Acarreo en camión de material producto de excavación o demolición en kilómetros subsecuentes al primero.	M ³ -KM	7.10	4,134.03	29,351.61
4	SUMINISTROS DE CONCRETO				
4.1	Suministro de concreto hidráulico F'c= 250 kgs/cm ² incluye fibra, aditivos agregados, control de calidad, puesto en obra.	M3	1,478.62	801.00	1,184,374.62
4.2	Suministro de concreto hidráulico F'c= 150 kgs/cm ² incluye fibra, aditivos agregados, control de calidad, puesto en obra.	M3	1387.50	106.31	147,505.13
	MANO DE OBRA				
4.2	Tendido de concreto hidráulico f'c= 250 kg/cm ² de espesor de 12.5 cm con TMA de 3/4" incluye: cimbrado, descimbre, curado con aspersor vibrado y acabado rayado. Tendido y enrasado con regla vibratoria y rodillo láser	M2	68.64	6408.00	439,845.12

PRESUPUESTO BASE PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS Y GUARNICIONES DE CONCRETO HIDRAULICO					
CONCRETO HIDRAULICO					
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
4.3	Construcción de Dentellón de concreto hidráulico f'c=250 kg/cm2. Inc. Trazo, nivel cimbra, descimbra, colado, vibrado, curado, junta de contracción y expansión.	ML	146.50	0.00	0.00
4.4	Corta losas con máquina de disco diamante a cada 3.50 mts para juntas de construcción y control. Incluye aplicación de sellador no el material.	ML	31.00	2136.00	66216.00
4.5	Construcción de juntas de 5/8'' con varilla lisa redonda no incluye materiales.	ML	31.00	600.00	18600.00
5.1	Guarnición de concreto tipo "L", f'c=150 kg/cm2 TMA=38 mm. Incluye concreto, juntas, cimbrado y descimbrado, colado, vibrado, curado con curacreto blanco,excavación, acostillamiento y relleno de banquetas..	ML	99.50	672.00	66864.00
5.2	Guarnición de concreto tipo "Patin", f'c=150 kg/cm2 TMA=38 mm. juntas,cimbrado, descimbrado, vibrado, colado y curado con curacreto blanco, excavación,acostillamiento y relleno,desplantado sobre terreno natural, compactado al 95% desu PVSM incluye rampa de acceso	ML	99.50	336.00	33432.00
5.3	Curva de Guarnición de concreto tipo "L", f'c=150 kg/cm2 TMA=38 mm. Inc. Juntas, cimbrado, descimbrado, colado, vibrado y curado con curacreto blanco,excavación, acostillamiento y relleno, desplantado sobre terreno natural, compactado al 95% de su P.V.S.M., no incluye rampa de acceso.	PZAS	236.50	24.00	5676.00
Costo Promedio					\$360.66

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

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

- Para la realización del diagnóstico se contrató la programación exclusiva de una imagen satelital para la ciudad de Agua Prieta, Sonora con fecha 25 de diciembre de 2010, logrando un análisis con un alto nivel de precisión, donde expresa mediante datos calculados las condiciones de las vialidades de Agua Prieta, Sonora.
- El conjunto de vialidades de la ciudad de Agua Prieta, cuenta con un déficit importante de pavimentación. De tal manera que un 31 % de superficie en calles cuenta con algún tipo de carpeta y principalmente asfalto en vialidades secundarias y terciarias. El Concreto Hidráulico normalmente se encuentra en algunas vialidades principales, el 69 % de las vialidades no cuentan con ningún tipo de pavimentación. En síntesis, se contabilizó un total de 8.3 Mm² de calles, de los cuales 5.7 Mm² están sin pavimentar.
- 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 2.1 mil millones de pesos en el caso de la opción de asfalto y de 3.2 mil millones de pesos para pavimentar con concreto hidráulico.
- 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 genera

información que sirva para priorizar los programas de pavimentación, mediante jerarquización en función de superficies, costos y población afectada (ver mapas 3 y 4).

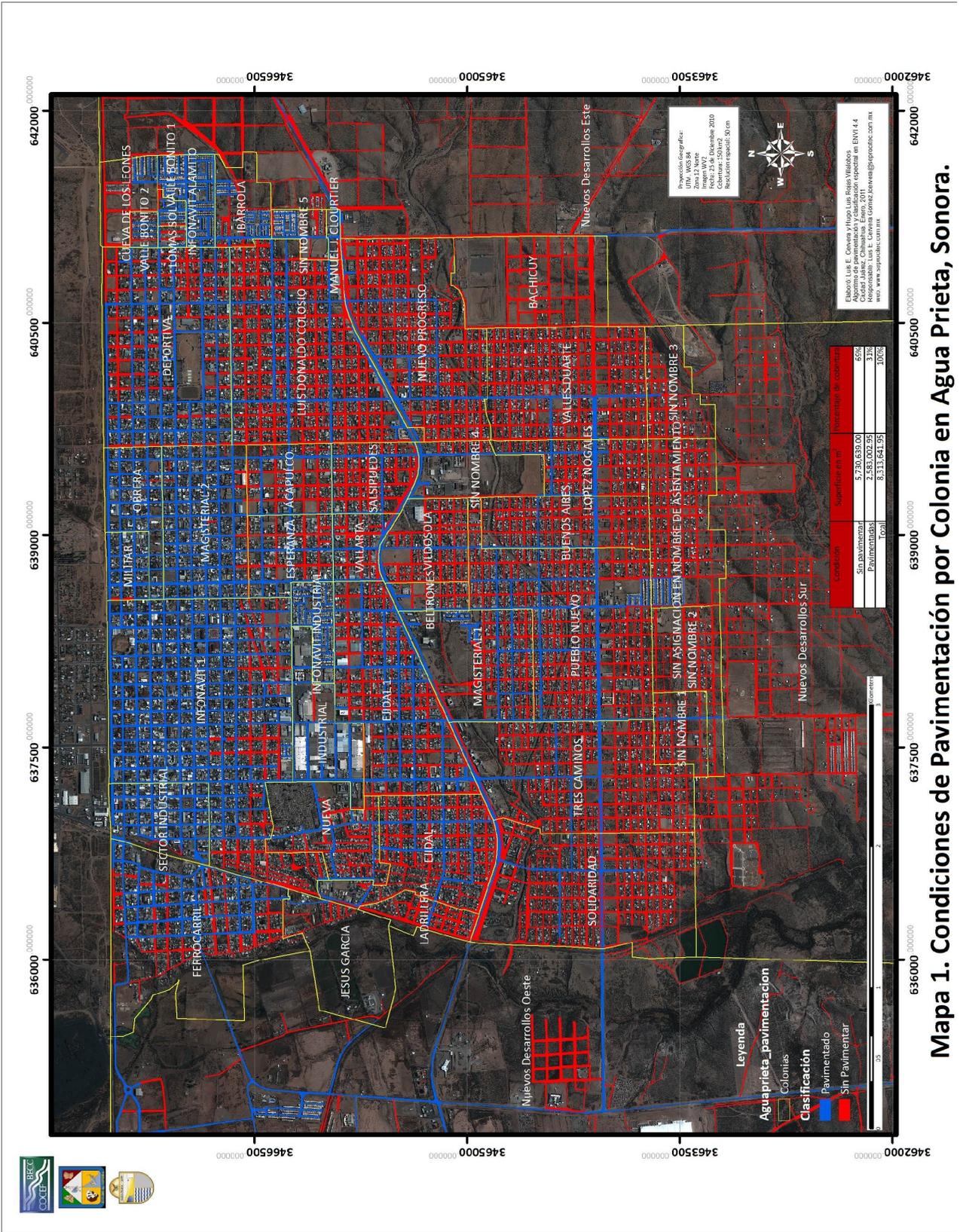
- La tecnología empleada en este proyecto, basada en el uso de una imagen satelital con fecha reciente y su tratamiento con programas especializados de Sistemas de Información Geográfica (Arc GIS 9.2 y ENVI 4.5) brindan fuertes posibilidades para que sean implementadas por la ciudad de Agua Prieta, Sonora en sus programas de pavimentación así como en otros programas relacionados a infraestructura y equipamiento urbano.
- 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. Con esta resolución y considerando una calle promedio de 12 metros de ancho por 100 de largo, se tendrían un total de 24 por 200 pixeles (4,800 pixeles por calle).
- El ambiente geo-referenciado y creado en una plataforma de Sistemas de Información Geográfica. Proveen un conjunto de datos vectoriales y raster que brindan la posibilidad tanto de actualizar como derivar más cartografía temática para la ciudad de Agua Prieta. Además de establecer relaciones con otras bases de datos como variables e indicadores socio-económicos, socio-demográficos y ambientales en un ambiente geo-referenciado. El sistema creado para Agua Prieta está listo para seleccionar y recalcular sectores prospectos a ser pavimentados.
- La calidad de la imagen aunada con las condiciones de poca vegetación en la ciudad y en conjunto buena traza de vialidades permitieron una rápida clasificación espectral para diferenciar las calles pavimentadas de las no pavimentadas.

Referencias

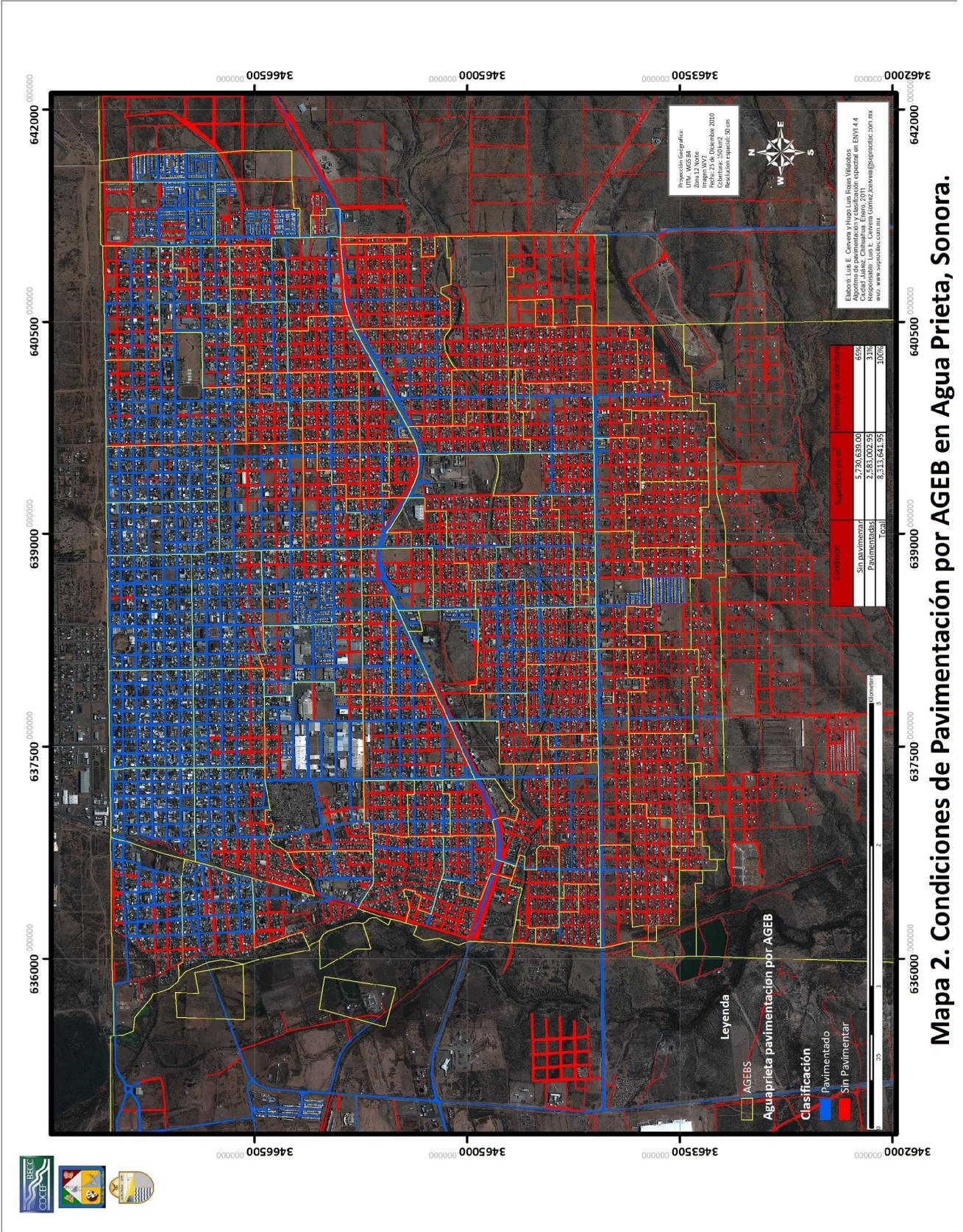
- 2006-2012. Plan de Desarrollo Urbano de Agua Prieta, Sonora.
- BECC-NADBank, 2008. Border Environment Cooperation Commission Air Quality and Street Paving Project in Nuevo Laredo, Tamaulipas. Board Document BD 2008-43; BECC Certification Document. December 16.
- Canada Center for Remote Sensing (2008). Optical Imaging Systems Information Extraction from High Resolution Satellite Images. Available in http://nrcan.gc.ca/optic/high/infoext_e.php
- COCEF, 2003. Proyecto Calidad del Aire y Pavimentación en Agua Prieta, Sonora del. Documento disponible en: <http://www.cocef.org/aproyectos>
- 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
- Gobierno Municipal de Nogales, Sonora (2009). Presidencia municipal, oficio PMN/409/2009-30 de marzo.
- 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://satjournal.tcom.ohiou.edu/pdf/herold.pdf>
- INEGI (2005). XVII Censo de Población y Vivienda. IRIS-SCINCE, Agua Prieta, 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.
- INEGI Censo de Población y Vivienda (2010). Agua Prieta, Sonora. Documento disponible: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/preliminares2010.aspx>
- (2011) <http://www.municipiodenogales.org>
- (2011) <http://www.nogales.sonora.gob.mx/swb/>
- INEGI (2010) http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/biblioteca/default.asp?accion=2&upc=702825006401&seccionB=bd
- (2011) Agua Prieta página oficial. http://www.aguaprieta.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=250:arranca-pavimentacion-en-la-colonia-nuevo-sonora&catid=48:comunicados&Itemid=71

ANEXO: MAPAS DE PAVIMENTACIÓN DE
AGUA PRIETA, SONORA.



Mapa 1. Condiciones de Pavimentación por Colonia en Agua Prieta, Sonora.



Mapa 2. Condiciones de Pavimentación por AGEB en Agua Prieta, Sonora.

