



**Fundación Hewlett**

**La Universidad: La Región y El Agua**

**Sistema de Información Geográfica para la Planeación del Agua en la  
Región Paso del Norte**

por

**Alfredo Granados Olivas, CIG-UACJ; Bobby Creel, NMWRRI-NMSU;  
John Kennedy, NMWRRI-NMSU; Raed Aldouri, PACES-UTEP**

**RESUMEN**

Una gran mayoría de mapas transfronterizos disponibles para la planeación de los recursos hidrológicos en la región Paso del Norte, sean estos producidos en México o en los Estados Unidos, contienen una típica “zona en blanco” territorial en el otro lado de la zona fronteriza donde se produjo la cartografía. Lo anterior ha limitado el uso combinado de dicha información, por lo que el principal propósito de este proyecto fue desarrollar un sistema de información geográfica (GIS) regional que apoyara en el proceso de planeación para el uso sustentable del agua en la región Paso del Norte. Los productos cartográficos del presente estudio incluyen los siete componentes geográficos básicos que incorporan a: 1) el componente geodésico, el cual consiste en una base de datos de puntos georeferenciados que incluye la ubicación y elevación; 2) el componente gráfico de imágenes georeferenciadas, el cual incorpora imágenes del satélite LANDSAT-TM7 y fotografía aérea la cual fue utilizada como fondo de apoyo a las otras bases de datos del proyecto; 3) el componente de elevación topográfica consiste en 2 tipos de bases de datos: a) un modelo digital de elevación (MDE) el cual incluye una base de datos que conforma una matriz o grid de puntos con información relacionada a la elevación con respecto al nivel del mar en cada punto relacionado; y b) un arreglo de contornos irregulares representativos del terreno natural incorporado al MDE; 4) el componente de transporte representado por líneas característico de la red de transporte carretero; 5) el componente relacionado a la hidrografía del terreno incorpora uno de los elementos más importantes en el proyecto en función de que incorpora coberturas temáticas relacionadas a los escurrimientos superficiales, tales como los arroyos, ríos, lagos y playas en sistemas de cuencas cerradas; 6) el componente de unidades gubernamentales que relacionan a los municipios y divisiones geopolíticas del estado y la zona de estudio; y finalmente 7) el componente de división catastral que reúne las condiciones de división parcelaria del uso del suelo y censo de propiedad de la tierra. Todas estas coberturas temáticas generaron una serie completa de mapas digitales que incorporaron ambos lados de la zona transfronteriza entre los dos países, en donde la información se encuentra disponible en ambos lenguajes, Español e Inglés, y con la misma proyección geográfica, mismo datum, así como las mismas unidades para todos los mapas generados. Este esfuerzo de investigación interinstitucional es un ejemplo de los ejercicios académicos que demuestran los beneficios del intercambio de información digital el cual es substancialmente ventajoso para la región, debido a que nuestros recursos naturales, principalmente recursos hidrológicos, se localizan en ambientes transfronterizos.

## **INTRODUCCIÓN**

El grupo interinstitucional denominado Paso del Norte Water Task Force esta integrado por un equipo de personas representativas de los sectores industrial, académico, gubernamental así como líderes comunitarios de la región del noroeste de Chihuahua, México y del suroeste de Texas y sureste de Nuevo México en los Estados Unidos. Estos individuos manifiestan su preocupación por la sustentabilidad del usufructo de los recursos de agua en la región y están en la búsqueda de políticas administrativas y de proyectos técnicos que encuentren soluciones para coadyuvar en la planeación conjunta entre las agencias responsables de la administración eficiente del agua en la región Paso del Norte. Situaciones tales como la preparación y desarrollo de planes para la infraestructura hidráulica regional, la estimación de las implicaciones al transferir los derechos de agua para otros usos diferentes a los actualmente destinados, y la evaluación del trabajo interinstitucional del manejo transfronterizo del agua entre las dependencias responsables de la administración del recurso en ambos países, son solo algunos de los importantes tópicos a que este grupo se refiere como parte de las políticas de cooperación definidas en el Water Task Force.

En relación con los potenciales tópicos de cooperación de proyectos técnicos requeridos por el grupo, temáticas como las posibilidades de acciones conjuntas para la conservación del recurso por medio de las diferentes acciones coordinadas por instituciones académicas de la región pudieran ser exploradas, la implementación de planes binacionales de monitoreo de calidad del agua consiguieran ser implementadas, o también se pudiera explorar la posibilidad de una base de datos o información regional de usos del suelo. Todos estos potenciales proyectos se pueden tratar con una aproximación binacional y examinar la diversa y compleja problemática del agua con recomendaciones y propuestas por medio de acciones a mediano plazo para lograr las metas planteadas a largo plazo.

Una de las acciones prioritarias que el grupo del Water Task Force identificó, fue la necesidad de un ejercicio de mapeo con carácter binacional el cual apoyara los esfuerzos realizados para la planeación del agua en el área transfronteriza del Paso del Norte, con el claro objetivo de generar una cobertura en los Sistemas de Información Geográfica (GIS) que fuera concordante para ambos lados de la zona fronteriza, en función de que la cartografía existente generalmente presentaba “zonas en blanco” en sus propias regiones transfronterizas. El grupo del Water Task Force convoca a los expertos regionales en GIS para que analizaran la problemática desde una perspectiva binacional y para que investigara alternativas de solución en función de que se requeriría una integración de equipos con perfil binacional para establecer una relación de trabajo entre los participantes expertos en el área. Para dar respuesta a este reto, se integro un grupo técnico en GIS creado con especialistas de las tres universidades regionales desarrollando y presentando una propuesta de investigación ante la consideración de la Fundación William and Flora Hewlett.

El proyecto inicio el 1º de junio del 2001 y se concluyo el 31 de mayo del 2002 con la colaboración del los tres centros de investigación especializados en geografía, participando el Centro de Información Geográfica (CIG) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), el Instituto de Investigaciones del Recurso Agua (Water Resources Research Institute-WRRI) de la Universidad Estatal de Nuevo México (NMSU), y finalmente, el Centro Pan-Americano para las Ciencias Ambientales y de la

Tierra (Pan-American Center for Earth and Environmental Sciences-PACES) de la Universidad de Texas en El Paso (UTEP), siendo estas instituciones las que llevaron a cabo la realización de dichos trabajos de investigación aplicada. La determinación del área de estudio que se incluyó en la “extensión del mapa” en el proyecto, incorpora la región que inicia por debajo de la Presa del Elefante en Nuevo México llegando hasta el Fuerte Quitman en Texas el cual incorpora las coordenadas geográficas que se localizan a la altura de los 33° de latitud Norte y 108° de longitud Oeste como la esquina superior izquierda del mapa, llegando a los 31° de latitud Norte a los 105° de longitud Oeste como el límite inferior derecho de la cartografía elaborada (Fig. 1).

Las principales coberturas digitales incluyeron los temas básicos de la cartografía temática del mapa base, las cuales integraron los siete componentes principales de un mapa. Estos temas incluyen: el control geodésico, imagen georeferenciada, elevación, transporte, hidrología, unidades gubernamentales e información catastral. De igual forma, se incluyeron otras bases de datos que se consideraron de utilidad para los esfuerzos de la planeación regional del agua y que se incluyeron como parte de las coberturas temáticas del proyecto. Ejemplos de estos temas adicionales incorporan las temáticas de fronteras de aguas subterránea, localización de pozos profundos de suministro de agua potable, delimitación de las cuencas hidrológicas y la clasificación de usos del suelo. Para lograr estos objetivos, todos estos centros de investigación especializados en GIS contaban para la implementación del proyecto, con una infraestructura computacional de hardware y software que les permitió contar con una capacidad instalada, así como con el apoyo de equipos técnicos especializados y el apoyo invaluable de estudiantes graduados y de licenciatura de las diversas universidades participantes.

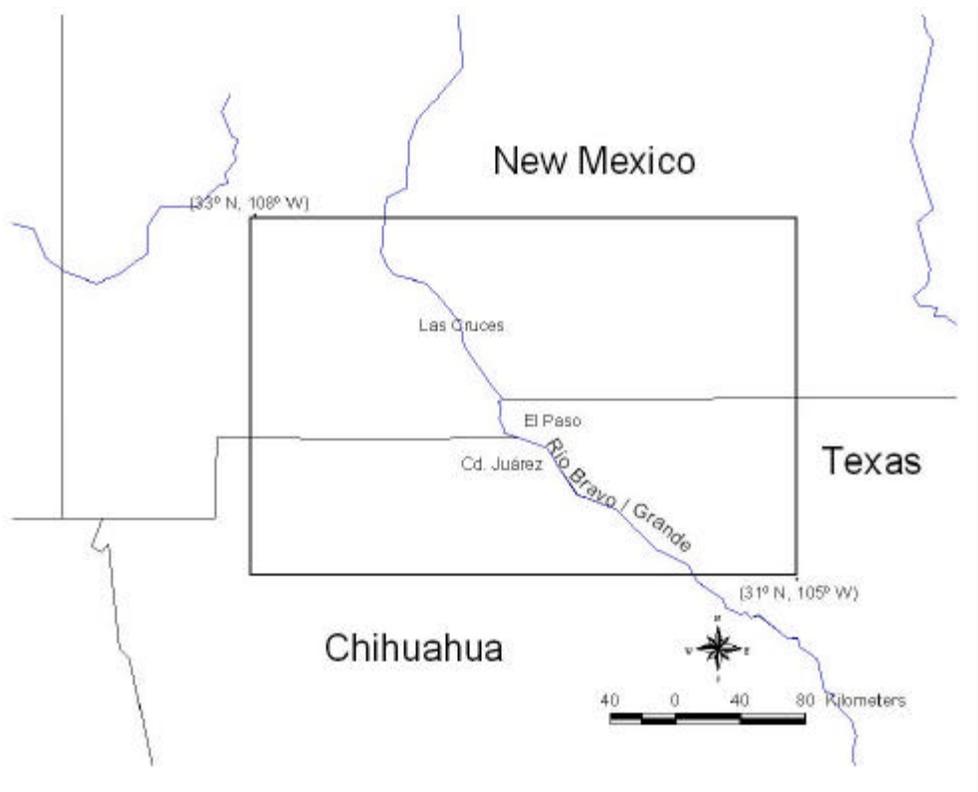


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

## **Materiales y Métodos**

La adquisición de información digital existente para el proyecto que pudieran ser útiles para las actividades de planeación del agua, fue una de las mayores tareas a las que los equipos de trabajo se abocaron como el primer paso hacia el trabajo encomendado. En las ocasiones en donde la información digital no era disponible o inexistente, las coberturas temáticas en formato analógico se adquirieron de fuentes oficiales (INEGI, 1992) y fueron escaneadas para su transformación a formato digital por medio de un proceso de rasterización convirtiendo dicha información analógica a vectorial por medio del programa computacional para mapeo y GIS denominado R2V (Raster to Vector). De igual manera, se convocó a las diversas instancias de gobierno así como a planeadores regionales para acceder a las bases de datos que estuvieran disponibles para el proyecto.

Los miembros del equipo de trabajo especializados en GIS de las tres instituciones regionales de educación superior, desarrollaron dichas actividades en conjunto de una manera supeditada, evaluando en conjunto los diversos retos que se fueron presentando durante el desarrollo del proyecto, generando cartografía con los temas mencionados en su etapa inicial como borradores preliminares de la combinación de productos temáticos dentro del mapa base.

A manera de que estos productos estuvieran disponibles, fueron distribuidos electrónicamente por medio de Internet para su revisión a los pares institucionales participantes del proyecto, los cuales fueron evaluados, discutidos y aprobados por los expertos para su posterior presentación como productos preliminares en diversas reuniones de evaluación de avances programadas por los participantes durante el desarrollo del proyecto.

Con la intención de obtener retroalimentación hacia el equipo de trabajo, se realizaron varias presentaciones profesionales en foros académicos en donde se informó a grupos, organizaciones y agencias gubernamentales interesados en el proyecto y en los productos preliminares del mismo de los avances alcanzados en esas fechas, visualizando algunos de los productos preliminares. Dichas presentaciones se beneficiaron con los comentarios y sugerencias de estos grupos de decisión permitiendo al equipo de especialistas del proyecto identificar requerimientos especiales en función de las necesidades propias de dichos auditorios. Comentarios y sugerencias de relevancia tales como la importancia de documentar procedimientos y técnicas utilizadas en la elaboración de dichos productos científicos con la finalidad de que estudios e investigaciones semejantes fueran realizados para otras regiones similares en el resto de las zonas transfronterizas. Este mapa base pudiera también funcionar como un depósito o banco de información para recopilar datos digitales de índole hidrológico para la región que pudiera incrementar las bases de datos acumulada en esta fase del proyecto; de tal forma que, información como las estadísticas hidrométricas de las estaciones meteorológicas y la información relacionada a las calidades químicas del agua, pudieran ser bancos de datos que se integraran posteriormente en el futuro inmediato al presente proyecto.

Para lograr los objetivos del proyecto, los centros de investigación en GIS de las universidades participantes utilizaron una selección de programas computacionales en sistemas de información geográfica para proceder a analizar la información digital. Todos los productos digitales fueron diseñados para ser utilizados en los productos para GIS de la compañía Environmental Systems Research Institute (ESRI), tales como ArcInfo®,

ArcView ®, ArcGIS®, ArcMap®, and ArcExplorer® así como otros programas computacionales compatibles a los anteriormente descritos.

El marco de referencia para el mapa base incluyó información geoespacial el cual integra siete componentes básicos que se relacionan a: la cobertura temática del control geodésico representado por una serie de puntos geográficos levantados con geodesia vía los sistemas de posicionamiento global (GPS) conteniendo coordenadas y elevación topográfica; dicha información se aprovechó también como datos de referencia y puntos de control para las otras bases de datos del proyecto. El componente de imagen georeferenciada el cual incluye una imagen del satélite LANDSAT-TM7 para la región de interés siendo seleccionada la banda 8 de dicha información satelital, la cual comprende la cobertura temática en formato de imagen pancromática con la ventaja de tener una resolución espacial de 15 m por píxel y una amplia cobertura en la región de interés. De igual forma se integraron series de vuelo aéreo para algunas zonas de la región de estudio siendo ambas bases de información con teledetección utilizadas como tapiz de fondo a las otras coberturas temáticas con la ventaja de estar georeferenciadas pudiendo interpretar de manera visual la geoespacialidad de la información digital capturada. El componente de elevación incluye dos tipos de bases de datos. Se generó un Modelo Digital de Elevación (MDE) que integro una matriz de puntos los cuales contenían información relacionada a las elevaciones topográficas con respecto al nivel del mar ligada a cada punto creando la apariencia de una superficie ondulante. El otro componente de elevación incluye una serie de líneas irregulares con intervalos de los contornos de elevación que representan datos de altura dentro del MDE. Otra cobertura de información lineal correspondió a la red de transporte y vías de comunicación terrestre, la cual incluyó carreteras interestatales principales o vías federales así como caminos de terciaría sin pavimentación dentro del área de estudio. Uno de los mas importantes componentes dentro del proyecto fue la cobertura temática relacionada a la hidrología, la cual concentro importante información tal como los parteaguas de la hidrología superficial de la cuenca hidrológica bajo análisis, las sub-cuencas, los arroyos y escurrimientos superficiales predominantes, los ríos, lagos y playas de drenaje interno en cuencas cerradas. El componente de unidades gubernamentales estuvo representado por los límites geopolíticos territoriales representativos de las extensiones municipales y límite internacional de la extensión territorial del estado de Chihuahua. El componente de unidades catastrales incorpora la delimitación polígonos representativos de las parcelas de propiedades y tipo de usufructo.

Todos los temas descritos fueron representados por figuras tales como puntos, líneas o polígonos dentro del sistema computacional de GIS la cual integraba series de bases de datos correspondientes a la información relacionada a dichas figuras, de tal forma por ejemplo, que un punto pudiera representar un pozo de agua potable con todos sus atributos de información, una línea pudiera representar un tipo de carretera y un polígono pudiera representar un ejido o municipio, con la ventaja de ser información georeferenciada con atributos espaciales integrados en las bases de datos de cada tema o cobertura digital.

Se generó un diccionario de datos y archivos de metadatos que describieran “información de la información” siguiendo los estándares de la FGDC (Federal Geographic Data Committe) en donde los atributos de las bases de datos fueron documentadas para permitir la disponibilidad de referencias y definiciones para los



En el caso particular de las vialidades, la cobertura que despliega esta figura 2 incluye únicamente las vías federales, aún sin embargo, el mapa base completo de este tema de transporte puede visualizarse en los archivos digitales al bajar la información digital de las páginas web anteriormente mencionadas.

La figura numero 3 muestra las estaciones de medición hidrológica de la región como puntos que se identifican por la simbología representativa de estas estaciones. De la mismo forma se muestran estas estaciones de medición en conjunto con la cobertura temática de escurrimientos superficiales representados por los ríos y arroyos por donde fluyen los escurrimientos. Estas localidades son de suma importancia para estudios hidrológicos a detalle dado que representan sitios de muestreo y medición de los volúmenes de escurrimiento proporcionados por los principales afluentes de la región. Así mismo son también importantes pues es en estas estaciones en donde se incluyen ambos datos de cantidad y calidad de los escurrimientos. Datos de las mediciones de flujos superficiales e información de la calidad química del agua se generan para su análisis en estos sitios de control; aún sin embargo, este tipo de datos no se incluyo en esta fase del proyecto encontrándose disponibles por medio de varias fuentes oficiales.

En la figura numero 4 , se mantiene el tema de relieve sombreado que se incluye como fondo para dar la impresión de la tercera dimensión y la cobertura de las fronteras y limites territoriales, pero integra el tema que representa a la localización geoespacial de los diversos pozos profundos que proveen de los servicios de agua potable a la comunicad del Paso del Norte. La localización de los pozos incluidos en esta base de datos se limita a la ubicación de los pozos que están bajo la administración de las agencias y oficinas de gobierno responsables del suministro tales como la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Cd. Juárez; El Paso Water Utilities y los pozos en el condado de Doña Ana en Nuevo México.

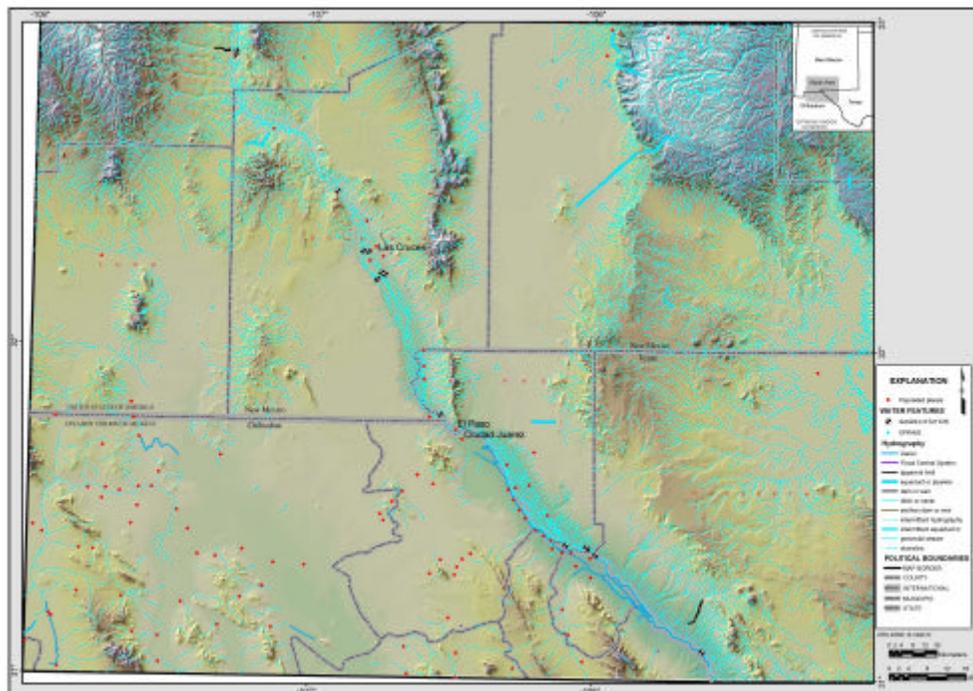


Figura 3 Localización geográfica de estaciones hidrométricas en el Paso del Norte

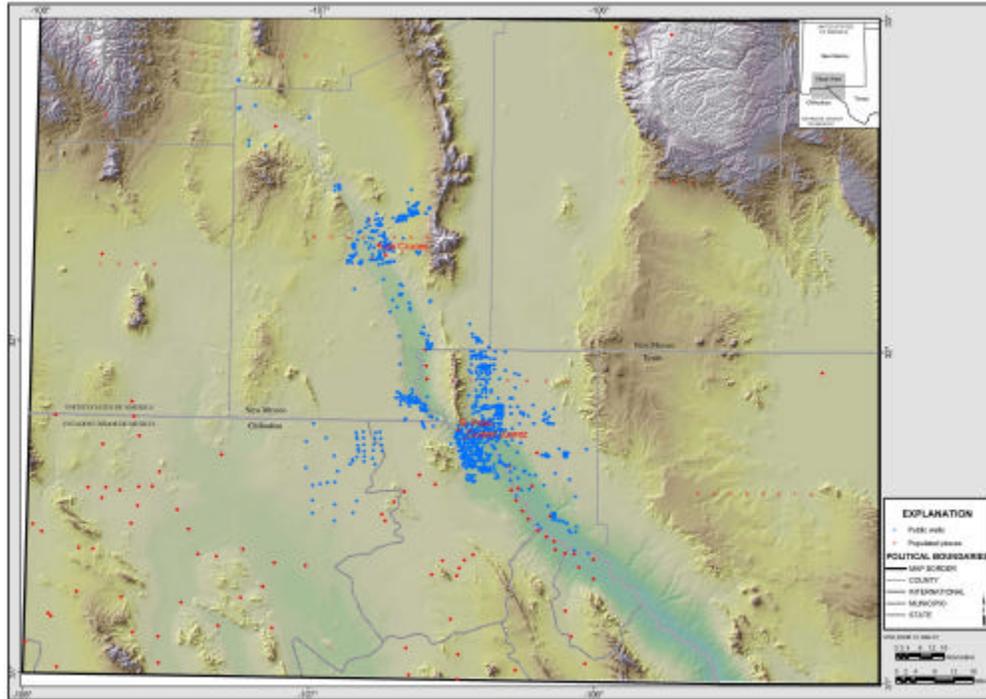


Figura 4 Pozos de agua potable ubicados en la región Paso del Norte

El mapa que se muestra en la figura numero 5 ilustra la extensión geográfica de los tres distritos de riego en la región. El Distrito de Riego 005 en el valle de Juárez se localiza al noreste del estado de Chihuahua, México el cual cuenta con una extensión territorial dentro del área de estudio de aproximadamente 16, 000 has. El Distrito de Riego de la Presa del Elefante se localiza en Nuevo México y cuenta con una extensión espacial de aproximadamente 36, 400 has. Finalmente, en lo condados de El Paso y Hudspeth en Texas se localizan el Distrito # 1 para las Mejoras del Agua con 27, 900 has., y el Distrito # 1 de Reclamación y Conservación con 42, 500 has, aproximadamente cada uno de ellos.

Dentro de las áreas de riego representativas de los diversos distritos que se integran en la zona de estudio, los usos y eficiencias del agua son diversos y variables en función de la tecnología de riego que se utiliza en las diversas áreas de cultivo. Por ejemplo, en algunos lotes agrícolas en ambos lados de la zona fronteriza, se cuenta con sistemas de riego de alta tecnología como lo son los sistemas presurizados de microaspersión y goteo, los cuales otorgan altas eficiencias en la aplicación del agua a los cultivos agrícolas teniendo un substancial ahorro en la diligencia.

En contraste, existen lotes agrícolas que continúan con los tradicionales sistemas de riego por gravedad obteniendo eficiencias muy pobres generado grandes perdidas de agua por efecto de la evaporación e infiltración profunda, así como el desperdicio del vital liquido por efectos de la mala conducción del agua a través de la deficiente conducción por medio de los canales de riego. Dichos sistemas de riego se utilizan lamentablemente en la mayoría de los lotes agrícolas por lo que las eficiencias del uso del agua en estos distritos, continúan siendo bajas considerando las grandes perdidas del recurso por efectos de la deficiente administración de los sistemas de riego.

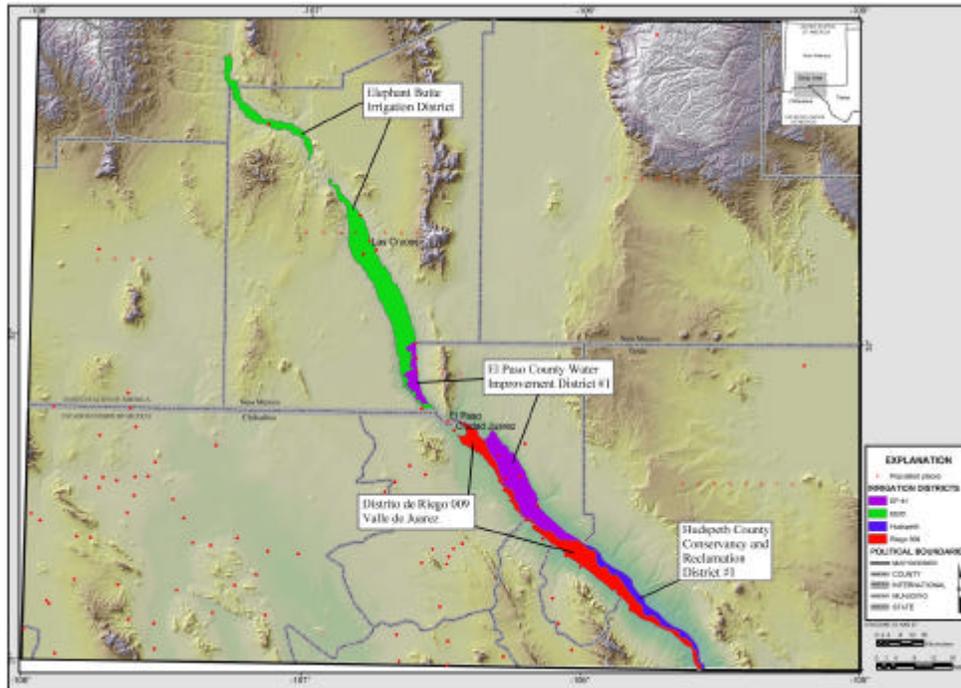


Figura 5 Extensión de los diversos Distritos de Riego en la Región Paso del Norte

En la figura 6 se incorpora el mapa que integra la extensión geoespacial de los principales cuerpos de agua subterránea que se tienen oficialmente identificados en la región. Este mapa es de suma importancia pues los recursos acuíferos de la zona de estudio serán una parte importante en un futuro inmediato para alcanzar el desarrollo sustentable de la región. Aún sin embargo, las fronteras de los acuíferos delimitadas en este mapa no son precisas y se encuentran bajo constante evaluación e investigación. La fuente principal de bases de datos que relacionan a estos acuíferos se encuentra registradas en diversas fuentes de información publicadas en otros estudios complementarios al presente, (Hibbs et al., 1997; Hawley et al., 2000).

La extensión geoespacial de los polígonos correspondientes a estos acuíferos transfronterizos integra las zonas que se considera contienen los materiales sedimentarios de depositación que conforman los cuerpos de agua subterránea existentes. Esta delimitación se rige por los afloramientos de los materiales geológicos representados por las principales estructuras geológicas de la región las cuales cuentan con diversas edades geológicas correspondientes a afloramientos de materiales con edades principalmente del Cretácico y Terciario en el caso de los materiales de origen volcánico.

Estos acuíferos pudieran estar gobernados en sus características hidrogeológicas por series continuas de fallas estructurales identificadas como lineamientos y fracturas de presentes en los materiales aflorantes, pudiendo aun tener influencia en los materiales sedimentarios de depositación que comprende los acuíferos señalados.

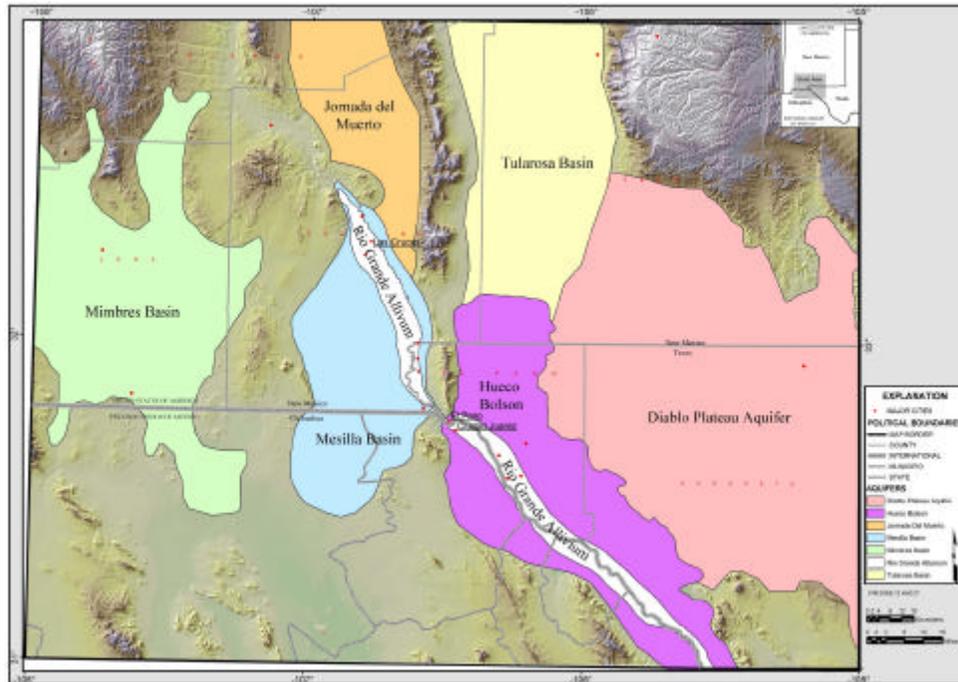


Figura 6 Extensión geoespacial de acuíferos en la región Paso del Norte

### Conclusiones y Recomendaciones

Como se ha notado en los elementos cartográficos presentados anteriormente, se ha identificado la necesidad de complementar y generar información adicional que integre la totalidad de las bases de datos que pudieran ser relevantes en los análisis para la administración de los recursos de agua en la región Paso del Norte. Así mismo, limitaciones en las bases de datos existentes con la que se produjo la cartografía temática relacionada a este estudio, generan la necesidad de complementar o corregir la información producida en este trabajo.

La combinación de los diversos temas en la cartografía producto de este análisis será mas valiosa en la medida que se vayan integrando temas y bases de datos de las personas o agencias que cuenten con ella y quieran compartirla para complementar los mapas de la región. Este esfuerzo pudiera ser considerablemente mejorado con la aplicación de la tecnología de informática y telecomunicaciones como lo es el Internet 2 generado un gran servidor de bases de datos geográficos para la región y el resto de las zonas transfronterizas de ambos países. Por lo que se recomienda que este concepto de la comunicación y transferencia de información vía electrónica sea considerado en un futuro inmediato.

El equipo técnico que llevo a cabo la presente tarea también ha obtenido una invaluable experiencia en le idea principal de la manera en como se debería de compartir e intercambiar información de esta naturaleza para el resto de las regiones fronterizas con características de binacionalidad como en el caso presente, por lo que es recomendable seguir apoyando con patrocinio para visitar diversas instancias en ambos lados de la zona fronteriza para mostrar los productos generados en este ejercicio académico.

## **Bibliografía**

- Hawley, J.W., Hibbs, B., Kennedy, J.F., Creel, B., Remmenga, M., Jonson, M., Lee, M., and Dinterman, P., 2000. Trans-International Boundary Aquifers of Southwestern New México: NMWRRI Technical Report (contract number X-996350-01-3) to U.S. Environmental Protection Agency, Región 6, Dallas, Texas, 79 figures, 1 plate, and 1 CD-ROM
- Hibbs, B., Creel, B., Boghici, R., Hayes, M., Ashworth, J., Hanson, A., Samani, Z., Kennedy, J.F., Hann, P., and Steven, K., 1998, Transboundary Aquifers of the El Paso/ Ciudad Juárez/Las Cruces Región: U.S. Environmental Protection Agency, Región 6, Dallas, Texas
- INEGI, 1992. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1992. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, H1301. Escala 1:250,000
- INEGI, 1992. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1992. Carta Hidrológica de Aguas Subterráneas, H1301. Escala 1:250,000