



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

“Análisis asistido por Sistemas de Información Geográfica al proyecto de instalación de la red de radiocomunicación de la Comisión Nacional del Agua en la Región Hidrológica Lerma-Santiago”.

DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO.
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL PRESENTA:
PEDRO MARTÍN COLÍN RAMÍREZ

ASESOR:
M. en c. LUIS POMPOSO VIGUERAS MUÑOZ

México 2014



Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



a π



ÍNDICE

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.	4
GENERALIDADES	6
Justificación, Alcances y Requerimientos del proyecto	14
Las Regiones Hidrológico – Administrativas de la CNA	18
Herramientas de análisis	25
De Referencia	26
Desarrollos específicos de la Comisión Nacional del Agua:	32
De la propagación de las señales	34
MEMORIA TÉCNICA	37
Estudio de las zonas de cobertura	38
Capítulo IV	¡Error! Marcador no definido.
Diseño de la Red	49
PLANOS Y DIAGRAMAS	63
CONCLUSIONES.	63
BIBLIOGRAFÍA.	65



INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo expone el análisis de un caso real, para lo cual se han empleado en la medida de lo posible los mismos datos que en su momento sirvieron como fuente de análisis al interior de la Comisión Federal de Telecomunicaciones; sin embargo, con el fin de cumplimentar lo que se establece en el artículo 13 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental, tras los argumentos expuestos por los titulares de los sistemas de radiocomunicación que aquí se representan, algunos de los datos tuvieron que variarse por considerarlos sensibles a comprometer la seguridad nacional dentro de sectores estratégicos de nuestro país, como lo son las vías generales de comunicación y el sector hidráulico nacional en la captación, almacenamiento y distribución del agua.

Este trabajo, se llevó a cabo en al interior de la Comisión Federal de Telecomunicaciones, en el cual el C. Pedro Martín Colín Ramírez tomó parte como Analista y Dictaminador, en su calidad de servidor público federal.

La labor de ingeniería en el presente análisis requirió de un grupo interdisciplinario de las áreas de la Ingeniería civil, mecánica eléctrica y de telecomunicaciones.

A lo largo del presente trabajo se apreciará la manera en la que se interactúa con varios Sistemas de Información Geográfica (SIG) dentro de la etapa de planificación de una red de telecomunicaciones que emplea el espectro



radioeléctrico, denominada también red de radiocomunicación, con la cual se pretende eficientar y optimizar las acciones que lleva a cabo la CNA en el centro del país para cumplir con su misión, la cual consiste en:

“Administrar y preservar las aguas nacionales y sus bienes inherentes, para lograr su uso sustentable, con la corresponsabilidad de los tres órdenes de gobierno y la sociedad en general.”

Durante el desarrollo del presente trabajo se ilustrará cómo es que partiendo de diversas fuentes de información y obteniendo resultados de cálculos matemáticos, se propone el arreglo final de la red de radiocomunicaciones, buscando las mejores ventajas operativas y economía en su instalación y operación.

El resultado obtenido, sirvió para que el Pleno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones, emitiera la correspondiente opinión técnica a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes quien resolvió otorgar la autorización a la CNA, conforme lo establecía el marco normativo aplicable.

Ingeniería civil, es la rama de la Ingeniería que aplica los conocimientos de física, química, cálculo, geografía y geología a la elaboración de infraestructuras, obras hidráulicas y de transporte. La denominación “civil” se debe a su origen diferenciado de la ingeniería militar. Tiene también un fuerte



componente organizativo que logra su aplicación en la administración del ambiente urbano principalmente, y frecuentemente rural: no solo en lo referente a la construcción sino también al mantenimiento, control y operación de lo construido, así como la planificación de la vida humana en el ambiente diseñado desde esta misma. Esto comprende planes de organización territorial tales como prevención de desastres, control de tráfico y transporte, manejo de recursos hídricos, servicios públicos, tratamiento de basuras y todas aquellas actividades que garantizan el bienestar de la humanidad que desarrolla su vida sobre las obras civiles construidas y operadas por ingenieros.

El presente análisis toma en cuenta la aplicación de la ingeniería civil durante la fase de planificación, en la recopilación y análisis de datos a través de los sistemas de información geográfica, que serán necesarios para el diseño que dará solución a la necesidad de instalar y operar el sistema de radiocomunicación privada de la CNA, el método de análisis al ser asistido por sistemas de información geográfica reúne una gran cantidad de datos (topográficos, hidrológicos, estadísticos y de otros tipos) con el consecuente ahorro en tiempo y recursos humanos, materiales y económicos.

GENERALIDADES

Sobre los Sistemas de Información Geográfica:

Un Sistema de Información Geográfica (en adelante “SIG” o “GIS”, por las siglas en inglés para *Geographic Information System*) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar,

Análisis asistido por SIG's a diseño de redes



almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información. En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada.

Los SIG han ido ganando terreno y gran aceptación como poderosa tecnología al permitir integrar datos y métodos de análisis geográfico tradicional (como el análisis de superposición de mapas), con nuevos tipos de análisis como el georreferencial y la modelación matemática.

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente en la captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de toda la información geográfica y sus atributos, con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y surgió de la necesidad de disponer rápidamente de información, para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Es decir, los SIG, son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.



Componentes. Para comprender mejor cómo se trabaja en un sistema de información geográfico, es importante conocer cuáles son los elementos que lo constituyen. Los principales componentes de un SIG son el hardware, el software, la información, los recursos humanos y las metodologías para resolver los problemas. Ver. Fig. 1.

En conjunto, los componentes de un SIG permiten representar de manera digital los datos geográficos (adquisición, codificación y almacenamiento), manejar eficientemente la codificación para editar, actualizar y almacenar los datos, brindarlos eficientemente para consultas complejas y crear formas de salida compatibles para diferentes usuarios, como puede ser con tablas, gráficas, etc.



Figura 1



Cómo trabaja un SIG. Un SIG almacena información real en capas temáticas o datasheets, que pueden ser vinculadas junto con la geografía (ver Fig. 2). A cada objeto contenido en una categoría se le asigna un número único de identificación. Cada objeto está caracterizado por una localización (atributos gráficos con relación a unas coordenadas geográficas) y por un conjunto de descripciones (atributos no gráficos), relacionados por un modelo matemático de datos. El análisis espacial de datos se realiza mediante numerosas operaciones (lógicas y matemáticas) ejecutadas por los SIG y entre ellas los procesos más comunes son la superposición y la reclasificación de mapas.

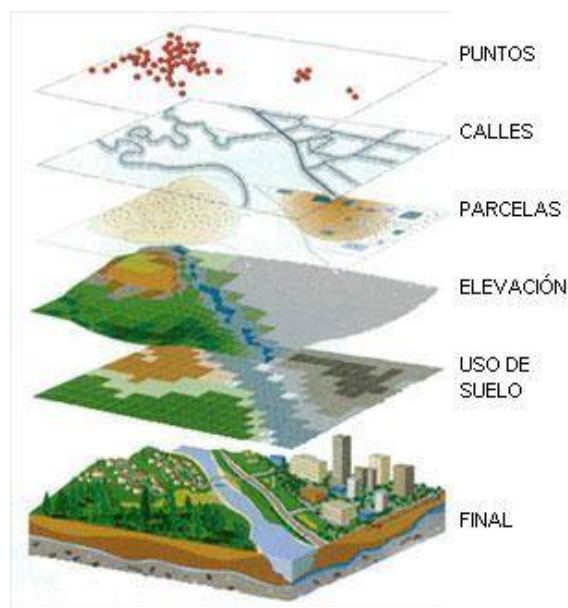


Figura 2



Sobre la Comisión Nacional del Agua:

La Comisión Nacional del Agua (CNA) es heredera de una gran tradición hidráulica y a lo largo de su historia ha estado integrada por destacados profesionales y especialistas de diversas disciplinas, reconocidos internacionalmente por su dedicación y capacidad técnica.

Las Instituciones predecesoras de la CNA son:

La Dirección de Aguas, Tierras y Colonización creada en 1917,

La Comisión Nacional de Irrigación, en 1926,

La Secretaría de Recursos Hidráulicos en 1946 y

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en 1976.

Su misión consiste en administrar y preservar las aguas nacionales, con la participación de la sociedad, para lograr el uso sustentable del recurso.

Para cumplir con su propósito esencial, la CNA se divide en tres áreas:

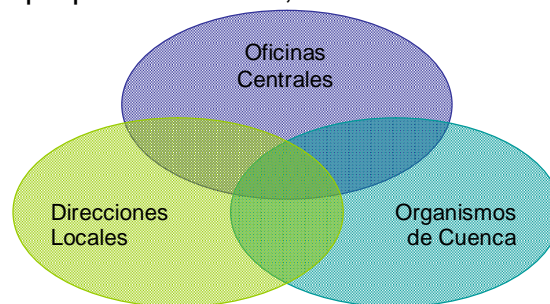


Figura 3



Oficinas Centrales. Apoya a los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales en la realización de las acciones necesarias para lograr el uso sustentable del agua en cada región del país, establece la política y estrategias hidráulicas nacionales, integra el presupuesto de la institución y vigila su aplicación; concerta con los organismos financieros nacionales e internacionales los créditos que requiere el Sector Hidráulico; establece los programas para apoyar a los municipios en el suministro de los servicios de agua potable y saneamiento en las ciudades y comunidades rurales y para promover el uso eficiente del agua en el riego y la industria. También establece la política de recaudación y fiscalización en materia de derechos de agua y permisos de descargas, coordina las modificaciones que se requieran a la Ley de Aguas Nacionales y apoya su aplicación en el país, elabora las normas en materia hidráulica, opera el servicio meteorológico nacional, mantiene una sólida y fructífera relación con el H. Congreso de la Unión, atiende a los medios de comunicación nacionales y se vincula con las dependencias federales para trabajar en forma conjunta en acciones que beneficien al Sector Hidráulico.

Los Organismos de Cuenca. Administran y preservan las aguas nacionales en cada una de las trece regiones hidrológico-administrativas en que se ha dividido el país. Estos Organismos de Cuenca, son vínculo con los Gobernadores de las entidades que administran; tienen a su cargo la aplicación, en cada región del país, las siguientes tareas básicas:



-
1. Determinar la disponibilidad del agua.
 2. Orientar los nuevos polos de desarrollo.
 3. Lograr el uso sustentable del agua.
 4. Asegurar la preservación de los acuíferos.
 5. Garantizar la calidad del agua superficial.
 6. Llevar a cabo la recaudación en materia de aguas nacionales y sus bienes.
 7. Solucionar conflictos relacionados con el agua.
 8. Otorgar concesiones, asignaciones y permisos.
 9. Promover la cultura del buen uso y preservación del agua.
 10. Prevenir los riesgos y atender los daños por inundaciones.
 11. Prevenir los riesgos y atender los efectos por condiciones severas de escasez de agua.
 12. Operar la infraestructura estratégica.

Direcciones Locales. Tienen la importante labor de aplicar las políticas, estrategias, programas y acciones de la Comisión en las entidades federativas que les corresponden.



Sobre la Comisión Federal de Telecomunicaciones:

Por su parte, durante el desarrollo del trabajo en el año 2009, la Comisión Federal de Telecomunicaciones (Cofetel), como órgano desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes con autonomía técnica, operativa, de gasto y de gestión, estuvo encargada de regular, promover y supervisar el desarrollo eficiente y la cobertura social amplia de las telecomunicaciones y la radiodifusión en México.

Entre sus múltiples atribuciones, se encarga de opinar respecto de las solicitudes para el otorgamiento de concesiones y permisos en materia de telecomunicaciones; administra el espectro radioeléctrico y promueve su uso eficiente;

Para la formulación de sus opiniones hacia la Secretaría, el estudio de cada proyecto precisa tres puntos de vista: legal, económico y técnico.

Enfocándonos en el punto de vista técnico, podemos mencionar que la Cofetel cuenta con sofisticadas herramientas de análisis, siendo entre las que nos centran en el tema toral: i) los Sistemas de Información Geográfica (GIS) y ii) Modelos matemáticos para el diseño de las redes de telecomunicaciones.



Justificación, Alcances y Requerimientos del proyecto

Justificación para establecer un sistema de radiocomunicación privada para la Comisión Nacional del Agua.

La CNA tiene misiones perfectamente definidas las cuales están encaminadas a la administración sustentable del agua para garantizar el suministro a la población, administrar el recurso para apoyar la agricultura, controlar embalses y cauces de agua ante la presencia de avenidas protegiendo así a la población civil y sus bienes aguas abajo; pero también participa administrándola para la generación de energía eléctrica en coordinación con la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Los servicios que desea operar la CNA son telefonía privada y datos en las bandas de VHF (very high frequency, cuyo rango es de 30 a 300 MHz) y UHF (ultra high frequency, cuyo rango es de 300 a 3000 MHz).

Las redes públicas de telecomunicaciones existentes no pueden prestar los servicios requeridos por la CNA. Está comprobado que las necesidades de la CNA son excepcionales, inclusive se analizó durante estudios preliminares la posibilidad de unificar los sistemas con los de entidades similares como la CFE, Protección Civil, Cruz Roja Mexicana, bomberos, policías estatales, policía federal, entre otros cuerpos, e intentar aprovechar tanto equipo de radiocomunicación como las instalaciones existentes y evitar la duplicidad de



gasto para el erario público; sin embargo, las necesidades de CNA son específicas y requiere de un despliegue de radiobases instaladas en sitios remotos para reportar información hidrológico-climática, con la finalidad de poder alertar a la población civil con suficiente anticipación en caso de un evento extraordinario, para el manejo de embalses, plantas de bombeo, sistemas de potabilización y cloración a gran escala, etc.

Así pues, las necesidades de radiocomunicación para la CNA tienen particularidades porque así como se requiere del establecimiento de las radiobases en sitios remotos, también requiere contar con repetidores en cada ciudad para atender operativos de emergencia, así como para la movilización rutinaria de su personal en las actividades cotidianas. Es por todo esto que ninguna empresa que presta de radiocomunicación podría contar con el despliegue de infraestructura como para arrendarle servicios de este tipo.

Ahora, dentro del análisis de costo – beneficio, al instalar una red de radiocomunicaciones propia contra el costo de arrendar los servicios de una empresa concesionaria se obvia al considerar dentro de los beneficios el contar con sistemas de alertamiento confiables, establecidos a gran distancia para disponer en mayor tiempo del sistema para que el personal de CNA brinde los servicios tanto de distribución de líquido como de alertamiento en caso de contingencia natural frente a la población. Esto considerando que en el manejo del agua se contemplan varios aspectos tales como a) el suministro a la población, b) el racionamiento para la agricultura y c) el control de avenidas, lo cual podría hacerse mediante el arrendamiento de los servicios concesionados, pero el factor d) la seguridad física de las instalaciones hidráulicas, requieren, o



mejor dicho, demandan de una red propia de CNA por tratarse del “Agua”, vital líquido de interés dentro de la seguridad nacional, por tal motivo es que CNA debe manejar una red de radiocomunicaciones propia y aprovecharla para satisfacer todas las necesidades antes mencionadas.

Alcance.

El presente proyecto se analizó tomando en consideración que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado, por lo que en la medida de lo posible se aprovecharon de manera positiva los accidentes orográficos como barreras naturales que atenúan la señal, obteniendo así zonas de cobertura definidas y también logrando reutilizar las frecuencias.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG's) cobra relevancia al introducir como variables de análisis los censos poblacionales para conocer la cantidad de población beneficiada en la fase operativa del sistema de radiocomunicación de CNA, pero también y de manera fundamental, la información orográfica, hídrica y de infraestructura de servicios existentes, a fin de optimizar recursos económico-financieros en la instalación y puesta en marcha del sistema.

Requerimientos del proyecto.

Determinado como objetivo del presente trabajo, la definición de un sistema de radiocomunicación privado para la CNA, con el que su personal pueda brindar



atención así como coordinar las demandas de captación, almacenamiento y distribución del agua, pero también las relativas al alertamiento ante fenómenos climatológicos como lo son las inundaciones en zonas rurales o urbanas; se deben analizar objetivamente diversos factores humanos, naturales y económicos que modelarán la solución óptima.

De ahí que un trabajo como el que nos ocupa, apoyado en una diversidad de herramientas de cómputo, tomando datos de fuentes proporcionadas por los mismos organismos oficiales encargados de procesar esa información geográfica y estadística específicamente en la Región Hidrológico - Administrativa Lerma Santiago Pacífico, como lo son el Instituto Nacional de Geografía e Informática y la Comisión Nacional del Agua, además del Centro Nacional para la Prevención de Desastres y complementada con aquella proveniente de los Gobiernos Estatales y Municipales residentes en el lugar, sirva como punto de partida para la planeación en la ejecución de una red de telecomunicaciones que le otorgue los servicios que la CNA demanda.

Así pues, dentro de los requerimientos mínimos para el presente estudio, se han identificado los siguientes:

- Contar con un Marco de referencia relativo a cuencas y Regiones en las que la CNA divide al país, de las cuales por su relevancia en el presente se hace necesario entrar a continuación a mayor detalle.
- Sistemas de información geográfica.



-
- Datos geográficos de tipo de suelo, uso de suelo, escurrimientos, precipitación media anual, máxima, etc.
 - Datos estadísticos de los principales núcleos poblacionales, de los tipos y usos de suelo, de la demanda estimada de líquido en cada población, etc.
 - Sistemas de cálculo de propagación electromagnética.
 - Cantidad y tipo de usuarios que operarán la red de telecomunicaciones en las labores de la CNA mediante comunicaciones de voz, así como los equipamientos de mediciones encargados de todas las demás aplicaciones que transmitirán datos en el sistema de radiocomunicación.

Por lo anterior, antes de entrar al análisis de gabinete, se requiere comprender claramente lo que la CNA define como:

Las Regiones Hidrológico – Administrativas de la CNA

La Ley de Aguas Nacionales, reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; de observancia general en todo el territorio nacional, con disposiciones de orden público e interés social, tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.



En los apartados **a y b** de la fracción XVI al artículo 3 de dicha Ley, cuya última reforma data del 20 de junio de 2011, establece lo siguiente:

a. *“Región hidrológica”*: Área territorial conformada en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos, cuya finalidad es el agrupamiento y sistematización de la información, **análisis, diagnósticos, programas y acciones** en relación con la ocurrencia del agua en cantidad y calidad, así como su explotación, uso o aprovechamiento. **Normalmente una región hidrológica está integrada por una o varias cuencas hidrológicas.** Por tanto, los límites de la región hidrológica son en general distintos en relación con la división política por estados, Distrito Federal y municipios. Una o varias regiones hidrológicas integran una región hidrológico – administrativa, y

b. *“Región Hidrológico – Administrativa”*: Área territorial definida de acuerdo con criterios hidrológicos, integrada por una o varias regiones hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos y el municipio representa, como en otros instrumentos jurídicos, la unidad mínima de gestión administrativa en el país;

Derivado de lo anterior, el país se ha dividido en 13 regiones hidrológico-administrativas, identificadas por numeración romana, las cuales están formadas por agrupaciones de cuencas, sin perder de vista que la cuenca ha sido establecida como unidad básica de gestión de los recursos hídricos, y que



en contraste los límites de una región hidrológico - administrativa respetan los límites de los municipios, esto es así para facilitar la administración e integración de la información socioeconómica.

Dicho esto, en la tabla siguiente se presentan las Regiones Hidrológico – Administrativas, mismas que se ilustran en un mapa en la Figura 4:

Tabla 1. Regiones Hidrológico – Administrativas del país. (con énfasis en la RHA de estudio)

Organismo de Cuenca o RHA.	Ciudad sede	Municipios (número).
I. Península de Baja California	Mexicali, Baja California	11
II. Noroeste	Hermosillo, Sonora	78
III. Pacífico Norte	Culiacán, Sinaloa	51
IV. Balsas	Cuernavaca, Morelos	420
V. Pacífico Sur	Oaxaca, Oaxaca	378
VI. Río Bravo	Monterrey, Nuevo León	144
VII. Cuencas Centrales del Norte	Torreón, Coahuila	78
VIII. Lerma Santiago Pacífico	Guadalajara, Jalisco	332
IX. Golfo Norte	Cd. Victoria, Tamaulipas	148
X. Golfo Centro	Xalapa, Veracruz	432
XI. Frontera Sur	Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	137
XII. Península de Yucatán	Mérida, Yucatán	126
XIII. Aguas del Valle de México	México, Distrito Federal	121



Figura 4

El mapa muestra la distribución geográfica de las trece regiones hidrológico – administrativas (RHA) en las que la CNA divide al país. Esta información fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1° de abril de 2010, dentro del *Acuerdo por el que se determina la circunscripción territorial de los Organismos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua*.



Así, para el caso que nos ocupa, la región hidrológica **Lerma-Santiago (RH12)**, forma parte de manera conjunta con otras regiones, de la región hidrológico - administrativa **VIII Lerma-Santiago-Pacífico** que cubre los Estados de Aguascalientes, Colima, Jalisco y parcialmente al Estado de México, Michoacán y Nayarit y tiene su sede en la ciudad de Guadalajara, Jalisco.

Si bien en el presente trabajo se abarcará lo relativo a la infraestructura de comunicaciones para la región hidrológica, en algunas cuestiones administrativas podríamos hacer cita sobre la región hidrológico - administrativa. Por ello, al referirnos a la región hidrológica Lerma - Santiago, emplearemos el término **RH12** y cuando nos refiramos a la totalidad de la región hidrológico - administrativa, el correspondiente término **RHA VIII**.

La RH12 presenta una orografía compleja (ver Figura 5) se conforma de 58 cuencas hidrológicas (el conjunto de cuencas que forman la RH12 se detalla en la tabla siguiente), las cuales frente al total de 728 del país, representan un 7.96%; cuenta con una extensión territorial de 132 916 km² (6.78%), una precipitación normal anual de 723 mm⁽¹⁾ y escurrimiento natural medio superficial de 13 637 hm³.

¹ Conforme a estadísticas de 1971 a 2000.



Figura 5

Es importante tomar en consideración que esta RHA VIII aporta el 18.50% del PIB y que en ella están comprendidos 22 487 000 habitantes, de un total de 112 336 538 habitantes para el territorio nacional. Así, estos datos del censo poblacional 2010 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía (INEGI) se sabe que en esta región se concentra el 20% de la población del país (ver Figura 6).



Figura 6

Por otra parte, de una consulta a la aplicación GIS, de CNA, denominada “Sistema de Seguridad de Presas”, se obtuvo la información con datos georreferenciados de las presas que corresponden a la región hidrológica RH12; información que se exportó mediante archivos *.kml para su despliegue en la herramienta de análisis de compatibilidad electromagnética de la Cofetel.

Por todo lo anterior, cobra relevancia el contar con un eficiente sistema de radiocomunicación que facilite las labores del personal de la CNA y le acerque al cumplimiento de sus objetivos.



Así, el sistema de radiocomunicación que se requiere, deberá de cumplir con las siguientes especificaciones:

- a) Cubrir el 100% de la región con al menos una disponibilidad del 97%.
- b) Emplear la menor cantidad de estaciones repetidoras, lo cual se traduce en buscar los sitios de mejor cobertura regional.
- c) Satisfacer la demanda en cuanto a la cantidad de empleados y los grupos de trabajo que conformen con el fin de cumplir con los fines de la CNA.
- d) Redundancia en el caso de aplicaciones críticas.
- e) Hacer un uso eficiente del espectro radioeléctrico en la zona de estudio.

Herramientas de análisis

Recientemente han habido cambios en la manera de recopilar la información geográfica específica, pues tradicionalmente la fuente de información hidrográfica en México había sido exclusivamente desarrollada por el INEGI; en cambio, actualmente, el uso de información digital en plataformas SIG, demanda información del tema con la calidad y estructura necesarias para realizar, para nuestro caso particular, análisis de redes, medición de



segmentos, dirección de flujo y magnitud de orden de corrientes, además de la delimitación de cuencas naturales o a partir de un punto de interés, entre otros.

Así, el INEGI como órgano responsable que genera información geográfica de calidad que ayude a satisfacer la demanda de los usuarios especializados y público en general, se dio hace algunos años, a la tarea de incursionar en el concepto de redes hidrográficas conectadas, una vez asimilado se desarrollaron documentos metodológicos para, a su vez, elaborar como producto terminado las redes hidrográficas conectadas en zonas donde la topografía es abrupta y la correspondiente de zonas planas, este último toque al trabajo fue realizado por especialistas en Hidrología del INEGI en colaboración con la CNA.

De Referencia

INEGI IRIS:

IRIS es una aplicación informática orientada a cubrir las principales capacidades de los Sistemas de Información Geográfica actuales, con un enfoque dirigido a las necesidades de los productores de información geográfica del país.

IRIS es un desarrollo propio donde participa personal calificado en la elaboración de software orientado a relacionar la información geográfica y





estadística que se genera en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y en otras unidades productoras y usuarias de información geográfica.



La necesidad de la sociedad mexicana de contar con información estadística y geográfica, ha encaminado al Instituto a cubrir necesidades básicas respecto de la integración de la información estadística referida al espacio que le da origen, con lo cual se construyen modelos que aportan los elementos necesarios para orientar la toma de decisiones.

IRIS, bajo el concepto de un Sistema de Información Geográfica, cuenta con servicios que facilitan el estudio de los objetos geográficos a través del conocimiento de su ubicación espacio-temporal, así como de sus atributos asociados; tales servicios brindan al usuario la posibilidad de:

Tabla 2. Funcionalidades del sistema IRIS del INEGI

	<p>Dimensionar en forma gráfica la información contenida: acercamientos, selección de capas de información, localizaciones, mediciones, etcétera.</p>
	<p>Analizar e interpretar los contenidos geográficos y tabulares: operaciones matemáticas, mapas temáticos, gráficos estadísticos, análisis espacial, análisis estadístico básico, etcétera.</p>



	Crear, modificar y exportar objetos geográficos vectoriales y tablas de información, modificar la fuente de los datos, y cambiar las proyecciones cartográficas.
	Integrar información a través de proyectos: incorporación de información vectorial y ráster, asociación de información documental y tabular, administración de propiedades de despliegue.

Red Hidrográfica escala 1:50 000

Como ya se ha citado, actualmente las nuevas tecnologías de información así como los avances en ingeniería de software, han permitido el desarrollo de los llamados SIG's, para el procesamiento, visualización, modelado, de datos espaciales, algunos de los cuales incluyen herramientas para construir redes geométricas.

Las redes geométricas ofrecen una forma para modelar redes comunes de infraestructura o naturales que se encuentran en el mundo real: de distribución de agua, líneas eléctricas, gasoductos, servicios telefónicos y el flujo de agua de cauces son todos ejemplos de las corrientes de recursos que pueden ser modelados y analizados.

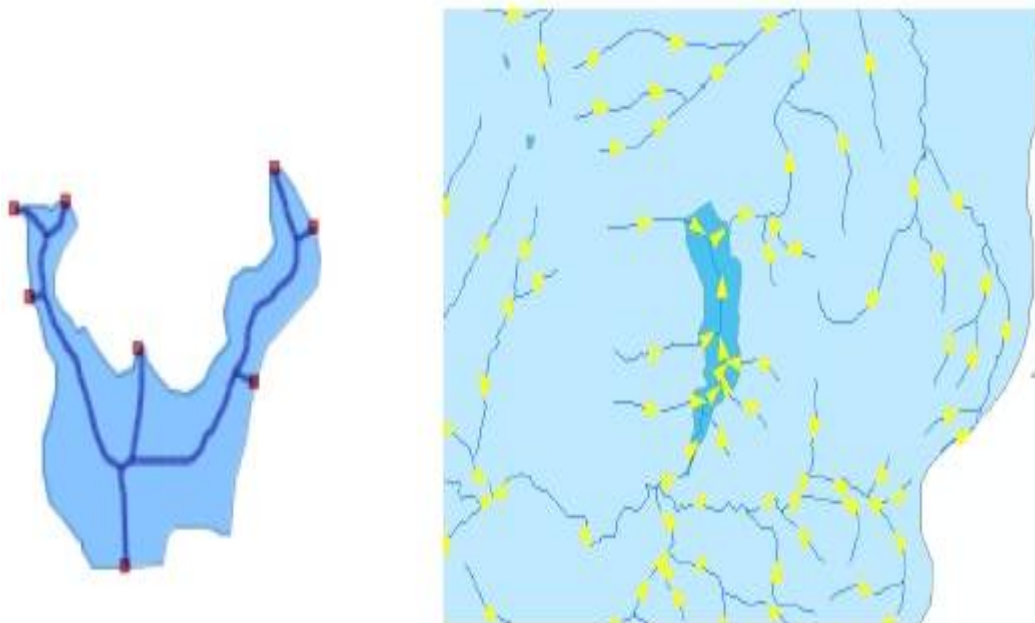


Figura 7

Uno de los objetivos del INEGI inmerso en el Marco del Subsistema Nacional de Información Geográfica y del Medio Ambiente, es el generar información de interés nacional que brinde elementos confiables a los tomadores de decisiones en beneficio de la nación, para lo cual se emprendió el proyecto “*Estructuración de la Red Hidrográfica escala 1:50 000*” consistente en construir redes a partir de rasgos hidrográficos superficiales de datos vectoriales topográficos existentes de la misma escala.

En la Figura 7, se aprecia el trazo típico de una cuenca y la dirección del flujo. También se identifica el cauce principal y los tributarios..

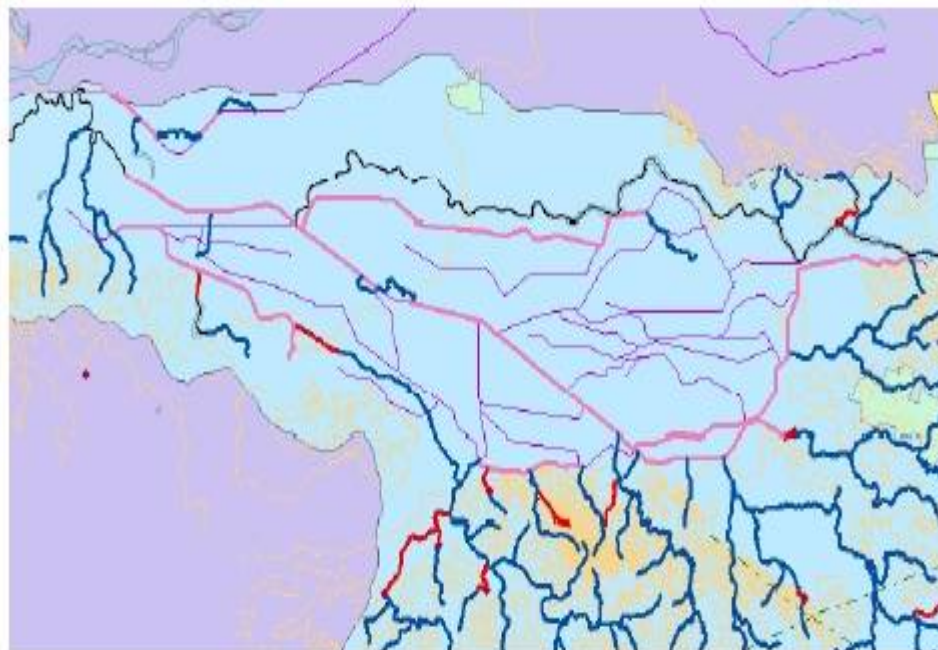


Figura 8. Simulación de corrientes

Las redes hidrográficas digitales, vinculadas a diversos datos como área de captación pluvial, precipitación, calidad del agua, temperatura, suelos, entre otras, así como con herramientas de SIG, permiten realizar trabajos de simulación para que los gobiernos e instituciones establezcan programas y acciones preventivas que beneficien a la población.

Familia ArcGIS

Es un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG, producido y comercializado por ESRI (*Environmental Systems Research Institute*, con sede en California USA) bajo el



nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Estas aplicaciones se engloban en familias temáticas como ArcGIS Server, para la publicación y gestión web, o ArcGIS Móvil para la captura y gestión de información en campo.

ArcGIS Desktop, la familia de aplicaciones SIG de escritorio, es una de las más ampliamente utilizadas, incluyendo en sus últimas ediciones las herramientas ArcReader, ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene y ArcGlobe, además de diversas extensiones. ArcGIS for Desktop se distribuye comercialmente bajo tres niveles de licencias que son, en orden creciente de funcionalidades: **ArcView**, ArcEditor y ArcInfo.

ARCVIEW: ArcView se inició como un programa gráfico para datos espaciales y mapas realizados con otros productos de software de ESRI. Con el tiempo se incorporaron más funcionalidad al software y se convirtió en un programa de SIG real, capaz de realizar gestión de datos y análisis complejos.



Desarrollos específicos de la Comisión Nacional del Agua:

Atlas Digital

La CNA desarrolló el Atlas Digital del Agua, México 2010, cuyo propósito es contribuir a la comprensión sobre la situación del agua en el país mediante la ubicación espacial de los cuerpos de agua, su infraestructura de manejo y sus diversos usos.

La información, organizada en cinco capítulos: Contexto, Ciclo Hidrológico, Usos del Agua, Impacto en la Sociedad y Agua en el Mundo, presenta información demográfica, socioeconómica, índices de rezago social, marginación y desarrollo humano, y la división hidrológico-administrativa del territorio nacional, entre otros temas. En el capítulo Ciclo Hidrológico se incluyen mapas sobre la disponibilidad de agua promedio per cápita, la distribución de la precipitación pluvial, la ubicación de los principales ríos, cuerpos de agua y acuíferos así como información de calidad del agua y sequías.

Dentro del capítulo Usos del Agua se encuentra información sobre plantas de tratamiento de aguas residuales, plantas potabilizadoras, principales presas de almacenamiento, coberturas de agua potable y alcantarillado, zonas para el cobro de derechos, grado de presión sobre el recurso y zonas de veda de aguas subterráneas. En Impacto en la Sociedad se proporciona información sobre los mecanismos de concertación y coordinación para el uso sustentable



del recurso hídrico del país –los Consejos de Cuenca y los Comités Técnicos de Agua Subterránea–, así como temas de salud y medio ambiente.

Por último, en el capítulo Agua en el Mundo, se muestran indicadores que permiten contextualizar la información de México y compararla con la de otros países del mundo.

La SIGA o Subgerencia de Información Geográfica del Agua:

La SIGA utiliza información cartográfica y alfanumérica en una geobase de datos relacional distribuida a nivel nacional cubriendo varias entidades del país. Mediante sus módulos, la SIGA permite procesar información de los recursos hidrológicos de una manera gráfica, haciendo posible consultar las características de estos recursos así como de quienes hacen uso de ellos. Para sustentar el sistema la SIGA cuenta con personal especializado en:

1. CARTOGRAFÍA
2. DIGITALIZACIÓN
3. SISTEMAS DE INFORMACION
4. REDES DE COMPUTADORAS
5. BASES DE DATOS
6. GEOPOSICION
7. PERCEPCION REMOTA



8. GEOMATICA

9. MODELOS MATEMATICOS

El SINA o Sistema Nacional de Información del Agua:

Por las características de transversalidad que tiene el agua, múltiples instituciones, dependencias y personas de los sectores social, privado, académico y público generan y consultan información sobre el sector hídrico en México.

CNA, en el contexto del Sistema Nacional de Información del Agua, genera anualmente la publicación “Estadísticas del Agua en México”, con la finalidad de ofrecer al interesado un panorama claro y actualizado de la situación del agua en México y el comparativo con otros países del mundo. Este documento se integra con información proporcionada por las diversas instituciones y organizaciones que participan en el manejo y preservación del agua, entre las que destacan las instituciones integrantes del Comité Técnico Especializado de Información en Materia de Agua.

De la propagación de las señales

Ellipse Spectrum 7.0

Las áreas de terreno que contarán con cobertura de los distintos equipos de transmisión y repetición, se ubicarán de manera que sean más eficientes, para



ello el presente análisis se apoya en el uso de una herramienta de software adicional que realizará el análisis de compatibilidad electromagnética y producirá gráficamente las coberturas una a una. Esta herramienta es el software denominado Ellipse Spectrum 7.0 (en adelante “Ellipse”).

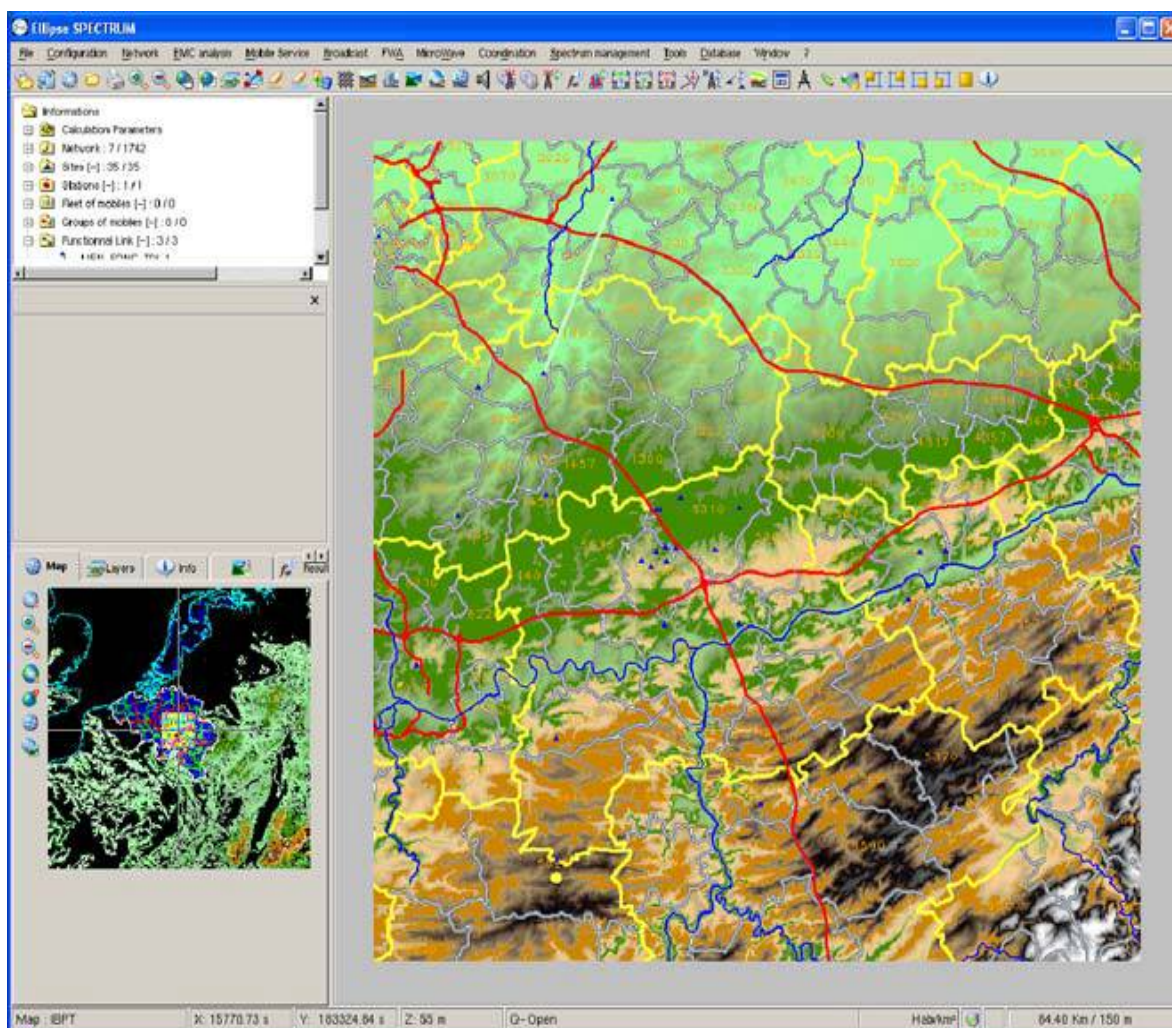


Figura 9. Imagen del Sistema Ellipse en operación



Ellipse incluye una base de datos técnicos, la cual almacena la información técnica de sitios, estaciones y sus parámetros relacionados, como coordenadas y elevación del terreno, tipos de antena y su patrón de radiación, cantidad y tipo de móviles asociados y más.

Ellipse también incluye una serie de modelos de propagación los cuales toman en cuenta la teoría electromagnética conforme a distintas bandas del espectro radioeléctrico.

Para calcular las pérdidas de señal por espacio libre y difracción, se tienen 4 opciones de modelos:

- a) **Freespace model:** el modelo más simplificado, pues no toma en cuenta difracción o reflexión de las señales.

- b) **Two-ray model:** usado en casos en los que el trazo de señal tiene franca línea de vista al receptor (elipsoide de fresnel sin obstrucciones) y el perfil del enlace muestra posibles problemas de tipo reflectivos.

- c) **Ellipse model:** toma en cuenta problemas de trayectoria múltiple por obstáculos.



d) **P452 Model:** modelo estandarizado por la UIT para cálculos de interferencia en condiciones trans-horizonte. Este modelo se emplea al tomar en cuenta enlaces de baja frecuencia, fenómenos de propagación conducida o reflejada a través de capas de la tropósfera.

Finalmente, dependiendo de la región geográfica y la banda de frecuencias en estudio, el Ellipse puede o no tomar en consideración otros factores como la precipitación media anual, la densidad de edificios en una zona urbana determinada y la diversa variedad de vegetación de un ecosistema dado, todo esto configurable por el ingeniero en turno.

MEMORIA TÉCNICA

Debido a los alcances en cobertura y la alta disponibilidad en la adquisición de los equipos terminales y de radio bases, se ha optado por el uso de la banda de 450 a 470 MHz para la comunicación de los distintos grupos de trabajo de la CNA.

Por lo antes mencionado, dentro de la captura inicial a fin de preparar la puesta a punto del sistema Ellipse, se debe verificar la existencia de los respectivos planes de canalización, de acuerdo a las recomendaciones internacionales.



Estudio de las zonas de cobertura

De acuerdo a lo planteado con anterioridad dentro del numeral 2.2; existen 728 cuencas hidrológicas organizadas dentro de 37 Regiones Hidrológicas, dentro de las cuales, el presente estudio comprende exclusivamente a la identificada en el Atlas Nacional del Agua como la número 12 Lerma-Santiago, dentro de la cual se tienen los siguientes elementos críticos para considerar en el diseño de la red de telecomunicaciones para CNA:

- Infraestructura de Almacenamiento:
 - Principales Presas.

- Infraestructura de Conducción.

- Núcleos poblacionales principales en la Región 12.

- Principales zonas agrarias en la Región 12



Infraestructura de Almacenamiento

A. Principales Presas:

Dentro de las necesidades de la CNA está el tener cobertura de radiofrecuencia mandatoria en la zona de las principales presas de la RH12, las cuales se encuentran dispersas en 5 entidades federativas, destinadas para la diversidad de usos como lo son la generación de energía, abastecimiento industrial, agrícola, ganadero y consumo humano.

Estas grandes presas acumulan un volumen total al NAMO (nivel de aguas máximas ordinarias) de 12,413 hm³, lo cual representa el 10.48% del volumen nacional.

Nota: NAMO: Nivel de Aguas Máximas Ordinarias. La operación de la presa se lleva a cabo entre el NAMINO y el NAMO, que es el máximo nivel con el que se puede operar la presa para satisfacer las demandas; cuando el vertedor de excedencias no es controlado pro compuertas, el NAMO coincide con su cresta o punto más alto del vertedor. En el caso de que la descarga por el vertedor esté controlada, el NAMO puede estar por arriba de la cresta e incluso puede cambiar a lo largo del año. Así, en épocas de estiaje es posible fijar un NAMO mayor en épocas de avenidas, pues la probabilidad de que se presente una avenida en la primera época es menor que la segunda. Al volumen que se almacena entre el NAMO y el NAMINO se le llama volumen o capacidad útil y es con el que se satisface la demanda de agua. En cauces naturales indica la



cota a partir de la cual empieza el desbordamiento y sirve para tomar acciones respecto a la protección civil y otras medidas pertinentes.

A continuación se enlistan las principales presas de la RH12 consideradas para la cobertura de la red de telecomunicaciones del presente caso.

Tabla 3. Presas principales en la RH12

No.	Clave	Nombre oficial	Nombre común	Cap. NAMO (hm ³)	Usos
1	2516	Solidaridad	Aguamilpa	5 540	G, I
2	2538	Leonardo Rodríguez Alcaine	El Cajón	2 282	G
3	1436	Solís	Solís	870	I, C
4	1710	Cajón de Peña	Tomatlán o El Tule	511	I
5	49	Plutarco Elías Calles	Calles	340	I
6	1782	Gral. Ramón Corona Madrigal	Trigomil	324	I
7	2382	Tepuxtepec	Tepuxtepec	323	G, I
8	1328	Laguna de Yuriria	Yuriria	288	I
9	1825	Manuel M. Diéguez	Santa Rosa	258	G
10	4365	Trojes Solidaridad	Trojes	220	I
11	2286	Melchor Ocampo	El Rosario	200	I
12	1315	Ignacio Allende	La Begoña	150	I, C
13	1926	Tacotán	Tacotán	149	I, C
14	1702	Basilio Vadillo	Las Piedras	146	I
15	1304	La Gavia	La Gavia	145	C
16	3747	El Chique	El Chique	140	I
17	1365	La Purísima	La Purísima	110	I, C
18	1887	El Salto	El Salto	85	A
19	2202	Cointzio	Cointzio	85	I, A
20	3807	Miguel Alemán	Excamé	81	I, G, C
21	1800	Ing. Elías Glez. Chávez	Puente Calderón	80	A
22	2113	Tepetitlán	Tepetitlán	68	I
23	1918	Ing. Santiago Camarena	La Vega	44	I



B. Infraestructura de Conducción del Sistema Hidrológico Nacional.

A grandes rasgos, el abastecimiento del agua a un poblado se logra mediante el transporte de este importante líquido desde la fuente de abastecimiento hasta un sitio ubicado en el poblado para su posterior distribución.

Las obras de conducción forman parte de clave de las labores que desarrolla la CNA, por lo que de igual forma que las grandes presas, las principales obras de conducción en la RH12 deben contar con señal de comunicación para los recorridos que el personal de operación realice, pues el correcto funcionamiento de dichas obras tiene un impacto económico en la operación del sistema integral.



Figura 10. Obras de la línea de conducción



Como se sabe, dentro de un sistema de abastecimiento de agua potable se llama línea de conducción, al conjunto integrado por tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua desde una sola fuente de abastecimiento, hasta un solo sitio donde será distribuida en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión.

En el país, existen más de 3000 kilómetros de acueductos que llevan agua a diversas ciudades y comunidades rurales, con una capacidad total de más de 112 m³/s.

Para el presente estudio, el enfoque es hacia la infraestructura de conducción o troncal principal de conducción en la RH12; sus principales obras, de acuerdo a la longitud y el caudal que éstas presentan son:

Tabla 4. Obras de línea de conducción en la RH12

Nombre	Longitud (km)	Caudal (L/s)	Año	Ciudades abastecidas	Operador
Lerma	60	14000	1975	Cd. de México	Sistema de Aguas de la Ciudad de México
Armería-Manzanillo	50	250	1987	Manzanillo.	Comisión de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado de Manzanillo, Colima.



Chapala-Guadalajara	42	7500	1991	Zona Metropolitana de Guadalajara	Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado.
----------------------------	----	------	------	-----------------------------------	---

LERMA: La relevancia de esta obra de conducción radica en su función para dotar de agua a la Ciudad de México, pues por el dinamismo demográfico industrial de impulso a la transformación del ciclo hidrológico regional; logró lo que anteriores proyectos intentaron infructuosamente. Desde que en 1902 William Mackenzie propuso al Ayuntamiento de la Ciudad de México un proyecto de aprovechamiento del agua del Lerma, años después distintos funcionarios del gobierno federal y las mismas autoridades hidráulicas del Distrito Federal promovieron y aprobaron una serie de iniciativas y medidas tendientes a realizar el propósito.

La obra de conducción de Lerma se basó en el estudio de los ingenieros Villarelo y Orozco, así como en el de una comisión del Departamento del Distrito Federal coordinada por el ingeniero Guillermo Terrez. Inicialmente Consistió en la captación del agua de los manantiales, el aprovechamiento de la diferencia de altitud de 273 metros entre ambas cuencas y la conducción del agua por gravedad mediante un acueducto de 60 kilómetros, desde el pueblo de Almoloya del Río hasta el Distrito Federal. Estas obras se llevaron a cabo a pesar de que afectaban intereses de usuarios locales del recurso y de personas que anteriormente habían obtenido concesiones de aprovechamiento.



ARMERÍA - MANZANILLO: Desarrollado a finales de la década de los ochenta, la infraestructura de conducción, de 50km de longitud, que abastece a la ciudad de Manzanillo se caracteriza por la extracción de agua de la cuenca del río Ayuquila-Armería (entre los Estados de Colima y Jalisco) en los límites de lo que hoy se conoce como la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, región ha sido beneficiada por los trabajos de mejora ambiental a inicios del siglo XXI, asegurando así la sustentabilidad de la zona y constituyéndose en una región hidrológica prioritaria nacional.

CHAPALA - GUADALAJARA: La relevancia de esta obra de conducción radica en que con su caudal se cubre la demanda del 60% de la población de la ciudad de Guadalajara.

C. Núcleos poblacionales principales en la RH 12.

Para el análisis del sistema de radiocomunicación de CNA, la información de los principales núcleos poblacionales se generó con base en las cifras poblacionales del INEGI y se presentó espacialmente en el IRIS para su posterior traslado al mapa de estudio en el Ellipse a fin de contar con la superposición de capas e identificar donde sería más viable la instalación de la infraestructura de telecomunicaciones.

Así, los pasos para generar dichos mapas consistieron en:



1. Identificar, con base en las cifras que proporciona el INEGI los principales núcleos poblacionales de la RH12, con el apoyo de la herramienta IRIS.
2. Relacionar estos núcleos en una capa independiente la cual fue denominada como la capa "Principales núcleos poblacionales de la RH12".
3. Con la capa aislada, se cargó la información y se generó la imagen correspondiente.
4. Debido a que el Sistema Ellipse, posee un sistema operativo de código cerrado, desarrollado por su propietario, la compatibilidad de archivos es limitada, sin embargo, ésta se puede realizar a través de imágenes con puntos de referencia geográfica dada por el ingeniero que analiza, ésto debido a que se comparte la misma fuente de información cartográfica, la cual en ambos casos es proporcionada por el INEGI.

D. Atención a emergencias y protección contra inundaciones.

En el marco del programa de Protección a la Infraestructura y Atención a Emergencias, la CNA ha instalado 16 centros regionales para la atención de emergencias.

Asimismo, cabe destacar la reciente integración del Inventario Nacional de Obras de Protección contra Inundaciones (INOPCI). Con base en dicho



inventario, se sabe que en la RH12 los problemas de inundaciones suelen presentarse en el Medio Lerma, no obstante la poca disponibilidad de agua que se dispone, se presentan inundaciones de tipo local, debido a la falta de capacidad del cauce principal para conducir escurrimientos propios y de sus afluentes, situación que provoca desbordamientos, además de que la capacidad de excedencia de las obras es mayor que la capacidad de los cauces. El área de inundación referida comprende las zonas metropolitanas de Querétaro, Celaya, Salvatierra, León, Irapuato y Silao, así como en las zonas aledañas a la confluencia de los ríos La Laja con el Lerma, Querétaro y Turbio a la altura de Manuel Doblado.

Por su parte, las inundaciones en la cuenca del río Santiago más bien se restringen a zonas urbanas y a zonas de riego ubicadas en terrenos de muy baja pendiente, particularmente cuando ocurren lluvias de origen ciclónico. Estas inundaciones son las más significativas en el área de las ciudades principales y sus alrededores.

En las costas de Jalisco y Michoacán el fenómeno se presenta con mayor frecuencia lo que ha ocasionado pérdidas considerables en el sector agrícola y urbano. Parte del problema se agrava debido a que la infraestructura existente en estas zonas es deficiente.

En los Estados de México y Guanajuato se dispone de un Atlas de riesgos de Inundaciones contribuyendo así en la toma de medidas preventivas y correctivas necesarias para dar auxilio y minimizar los daños a la población.



Ésta información organizada por municipios está debidamente expuesta, apoyada por mapas y documentos que la CNA estatal ha estudiado y como resultado expone las zonas tendientes a esta problemática, lo cual es un insumo adicional en el presente trabajo.

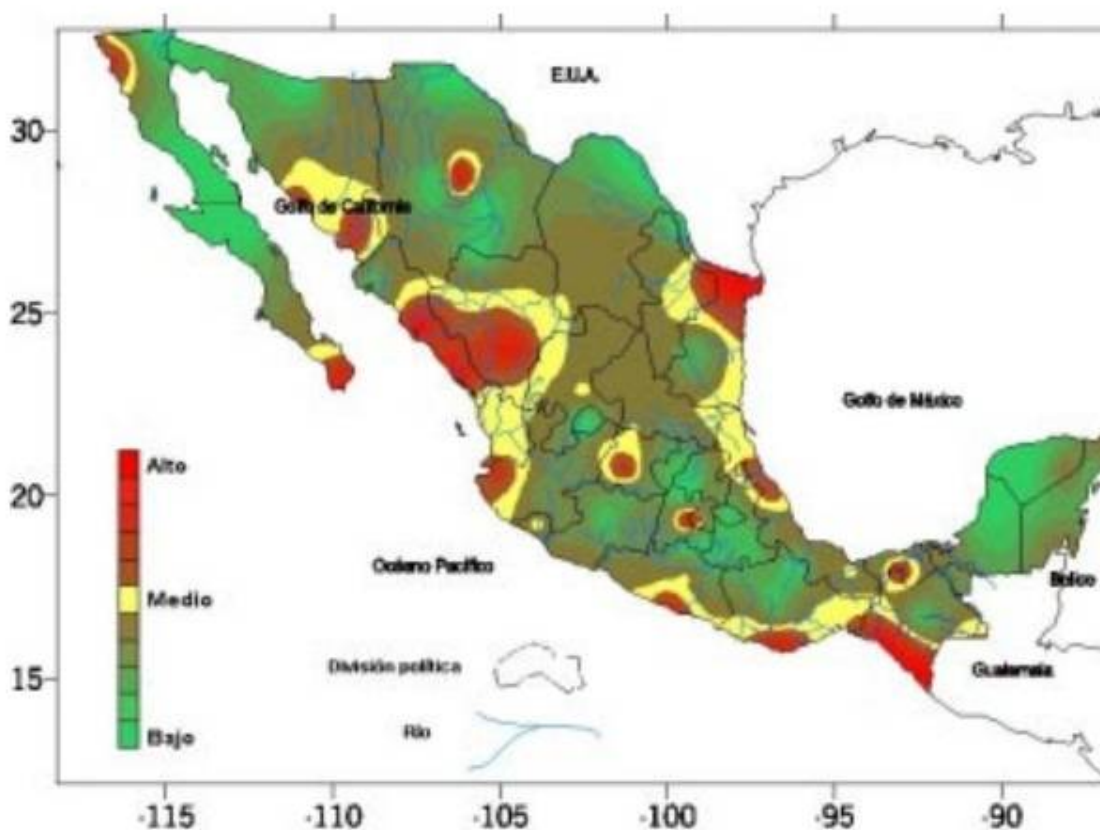


Figura 11. Zonas de peligros por inundaciones en la República Mexicana.



E. Principales zonas agrarias en la RH12

De una consulta al Atlas Digital del Agua desarrollado por la CNA, se sabe que en México, el área con infraestructura que permite el riego es de aproximadamente 6.5 millones de hectáreas, de las cuales 3.5 millones corresponden a 85 distritos de riego y las restantes 3.0 millones de hectáreas a más de 39 mil unidades de riego.

Los distritos de riego son proyectos de irrigación desarrollados por el Gobierno Federal desde 1926, año de creación de la Comisión Nacional de Irrigación, e incluyen diversas obras, tales como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros.

En la RH12 existen 12 distritos de riego con una superficie total de 271 600 hectáreas para la cual se demanda un volumen distribuido de 4 141.6 hm³

Tabla 5. Distritos de Riego presentes en la RH12

Clave	Nombre	Entidad federativa	Superficie total (hectáreas)
1	Pabellón	Aguascalientes	11 938
11	Alto Río Lerma	Guanajuato	112 772
13	Estado de Jalisco	Jalisco	58 858
20	Morelia	Michoacán de Ocampo	20 665
24	Ciénega de Chapala	Michoacán de Ocampo	45 176
33	Estado de México	México	18 080
34	Edo. de Zacatecas	Zacatecas	18 060



61	Zamora	Michoacán de Ocampo	17 982
85	La Begoña	Guanajuato	10 823
87	Rosario-Mezquite	Michoacán de Ocampo	63 144
93	Tomatlán	Jalisco	19 773
94	Jalisco Sur	Jalisco	16 940

El agua en los distritos de riego se aprovecha por gravedad, o se complementa por bombeo cuando la conformación topográfica de la fuente respecto del aprovechamiento, se requiere de auxilio electromecánico. A su vez, la fuente superficial puede ser una presa, derivación o bombeo directo a la corriente; en tanto que la fuente subterránea se aprovecha necesariamente a través del bombeo de pozos.

Diseño de la Red

Elección de la mejor ubicación de sitios considerando: acceso, servicios, clima, etc.

Tomando en consideración el estudio de la zona del proyecto, se cuenta con elementos suficientes para entrar al diseño de la red de telecomunicaciones, la cual se compondrá de los elementos suficientes, distribuidos en la RH12 de tal forma que maximicen la cobertura y cumplan con la demanda de los usuarios con el fin de que la CNA pueda llevar a cabo su labor encomendada. Dichos elementos son, enlaces para la red troncal, así como Radiobases y Repetidoras (torres, antenas, casa de equipos) en los Sitios críticos para el diseño.



Determinación de las cuencas y subcuencas donde se ubican los Sitios críticos para el diseño.

Es en esta etapa en la que se requiere la integración de Sistemas de Información Geográfica y otras tecnologías. Así, con la ayuda del IRIS se procedió a determinar la ubicación de los Sitios críticos para el diseño, comenzando con el despliegue de las redes hidrológicas, las capas de presas, obras de conducción e identificando de manera destacada los núcleos poblacionales y agrarios citados anteriormente, todos estos insumos fueron determinantes para identificar los Sitios críticos para el diseño, procediendo con el análisis asistido por la herramienta de cómputo como sigue:

Se cargaron las capas de Estados, Municipios, Redes Hidrológicas (la cual incluye la información por subcuenca, rasgo hidrográfico -río, arrollo, lago, presa, etc.- y sus coordenadas, entre otros), Marco Geoestadístico Nacional (Estados, Municipios, núcleos poblacionales, Áreas urbanas y rurales), Red Nacional de Caminos y otras Vías de Comunicación, Infraestructura Eléctrica y de Telecomunicaciones existente y los Datos de Relieve (curvas de nivel escala 1:50 000).

Con estas capas, dentro de la herramienta IRIS se crearon conjuntos de datos como sigue:

- 1) Alto Lerma
- 2) Medio Lerma



- 3) Bajo Lerma
- 4) Alto Santiago
- 5) Bajo Santiago

Asimismo, se cargó la capa de la infraestructura eléctrica a fin de considerar la accesibilidad de este servicio en sitios remotos; con el mismo criterio fue cargada la capa de carreteras y terracerías a fin de tomar en consideración accesos con vehículos para instalación y mantenimiento, sin embargo debido a que es posible que se llegase a requerir de la instalación en sitios altos con infraestructura pasiva existente por parte de otras redes de telecomunicaciones, éste último también se tomó en consideración y por ello se cargó la capa de redes de telecomunicaciones existentes.

Todo lo anterior, con el fin de manejar la información para su exportación a la siguiente herramienta que es el ArcView.

Una vez importados los datos, con el apoyo de la herramienta ArcView se identificaron y marcaron de manera preliminar los sitios que podrían ser postulados para alojar los equipos de radiocomunicación, ya sea por la orografía del lugar, o bien, por la proximidad a la localidad u obra civil considerada del análisis previo como clave para la CNA, ya sea porque:

- Se ubica en las proximidades de una de las Principales presas;



-
- Se ubica estratégicamente en una zona que brindaba cobertura a la infraestructura de conducción;
 - Abarca, en cada caso específico, a cubrir a los distintos núcleos poblacionales principales en la RH 12;
 - Garantiza la pronta atención a emergencias y protección contra inundaciones; o en su caso,
 - La cobertura es ideal para supervisar las principales zonas agrarias en la RH12.

En este punto, cabe destacar la conversión realizada fue mediante archivos de tipo *Shape*, y que la identificación de sitios preliminares sirvió además a modo de “marcadores” o puntos de referencia. Lo anterior, en virtud de que el Sistema Ellipse es un software propietario con restricciones de compartición de archivos, por lo que la importación a Ellipse tuvo que realizarse mediante imágenes referenciadas a dichos puntos, las cuales como a continuación se detalla:

1. Para realizar la importación de los puntos de referencia al Sistema Ellipse, fue necesario realizar una captura de pantalla de los datos cargados en el SIG, en este caso el Sistema IRIS.

Nota: Dada la dimensión de la zona de estudio, las imágenes se fraccionaron de acuerdo a tamaños de archivo que pudieran ser menores a 4Mb para facilitar su traslado a las distintas herramientas.



Un ejemplo de este seccionamiento se muestra a continuación, la cual corresponde a la zona del lago de Chapala:

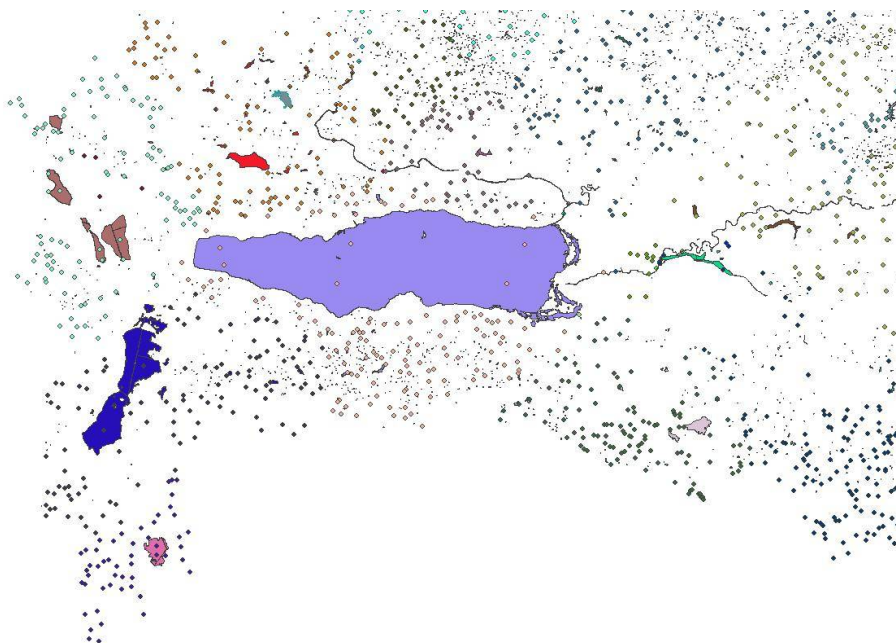


Figura 12. Iris. Lago de Chapala 1

2. En el Sistema Ellipse se ubica la zona geográfica en pantalla y se solicita la importación de la imagen, pegándola en la zona de análisis.

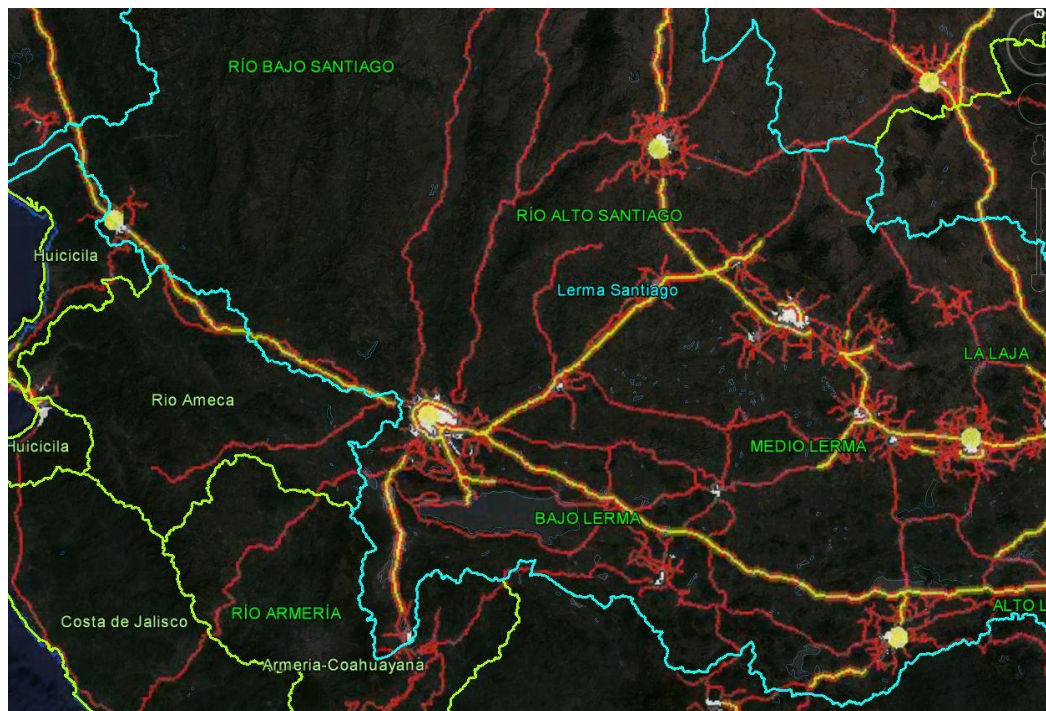


Figura 13. Elipse Lago de Chapala 1

3. Con las herramientas de giro y tamaño se moldea la imagen a fin de que coincidan al menos 3 puntos de referencia los cuales coinciden en las coordenadas geográficas en ambos SIG.

4. Se verifica la altimetría de puntos aleatorios a fin de validar que la presentación de la imagen está correctamente georreferenciada. A continuación se muestra un ejemplo del contorno de la imagen una vez súper puesta en la plataforma GIS correspondiente.

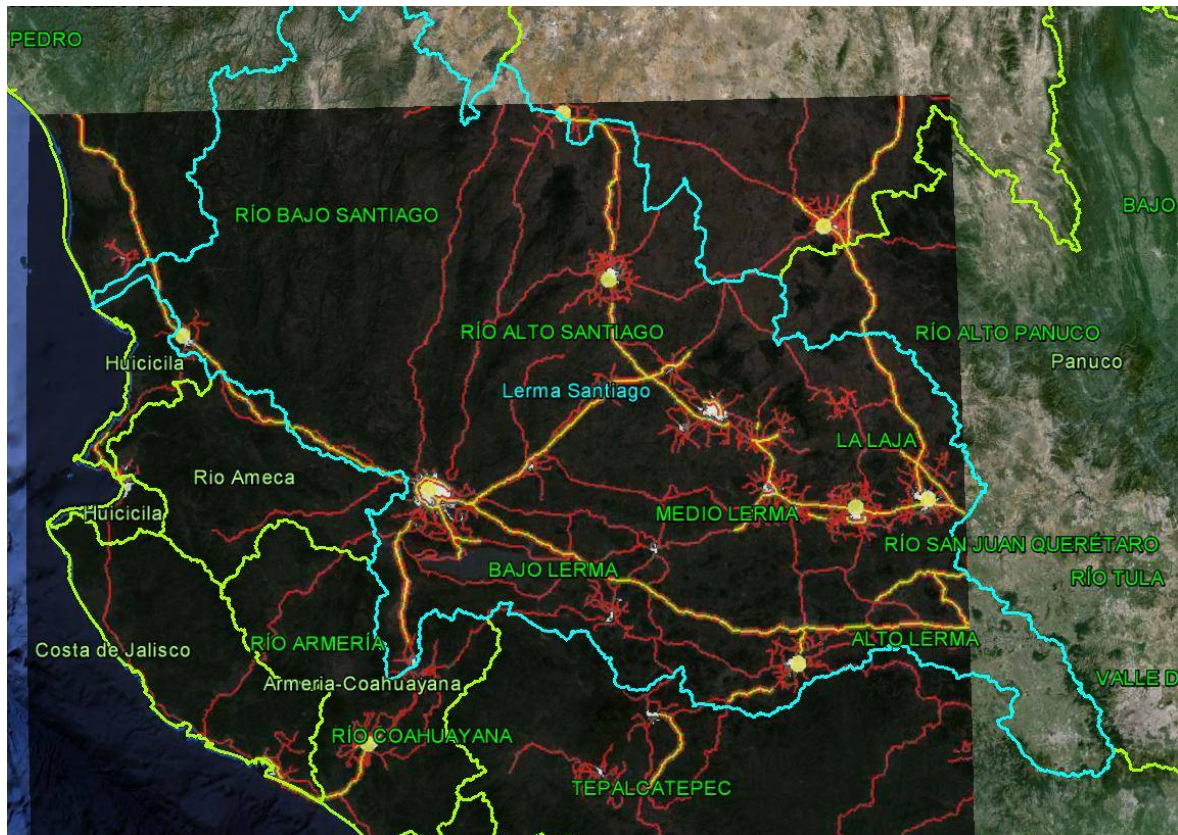


Figura 14. Arc Gis + Ellipse Lago de Chapala 1

Dentro de la herramienta Ellipse se llevaron a cabo los estudios de compatibilidad electromagnética, para lo cual se corrieron distintas configuraciones de las propuestas de sitios, buscando las que tuvieran mejor alcance en la cobertura y un reutilización de las frecuencias por parte de la CNA, esto por tres razones:

i) para que un mismo equipo interactuar a lo largo de la RH12, es decir, que el suministro y mantenimiento de los equipos fuera uniforme, ii) para optimizar el espectro radioeléctrico, pues de esta forma no se agota la disponibilidad en las zonas de estudio y iii) para facilitar la conformación de grupos de trabajo dentro



de CNA, organizados de acuerdo a las funciones específicas que se les designen.

Los estudios de compatibilidad electromagnética comprenden para cada estación una revisión de *línea de vista* de los enlaces troncales, de la *cobertura* de forma individual para cada estación, una revisión de la cobertura en forma múltiple o simultánea para revisar posibles zonas que no tengan cobertura por dos estaciones contiguas y el *estudio para determinar las frecuencias disponibles* en la zona, de acuerdo con la base de datos de redes existentes en operación.

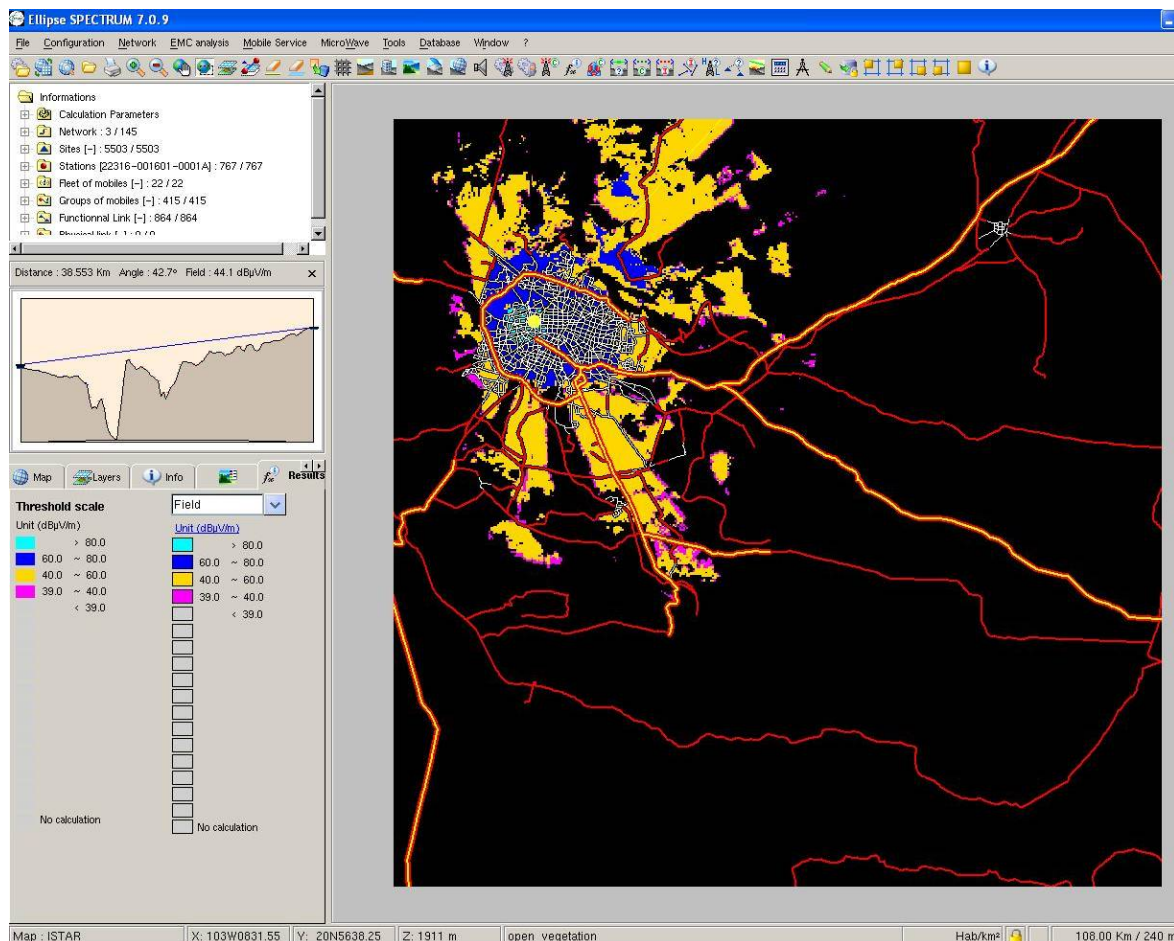


Figura 15. Estación Guadalajara y cobertura a L.C. 1

En la imagen anterior se aprecia una propuesta de ubicación de la estación en estudio para la ciudad de Guadalajara, Jalisco, la cual contaría con una cobertura en la zona metropolitana y hacia la línea de conducción del lago de Chapala.

Revisión de perfiles para la red de enlaces troncales.



La red troncal de enlaces tiene como finalidad enlazar subsistemas a lo largo de la RH12, esta red comprende enlaces punto a punto con una alta directividad de antenas, por lo que es necesario contar con franca línea de vista en cada uno de los nodos o extremos de la red.

El procedimiento en la herramienta Ellipse consiste capturar los datos de cada uno de los extremos de un enlace, realizado lo anterior, con el apoyo de la función específica en el sistema se realiza el trazo del perfil, el cual es generado tomando en cuenta la altimetría de la zona entre cada uno de los extremos del enlace y entrega el resultado con la información de la siguiente imagen:

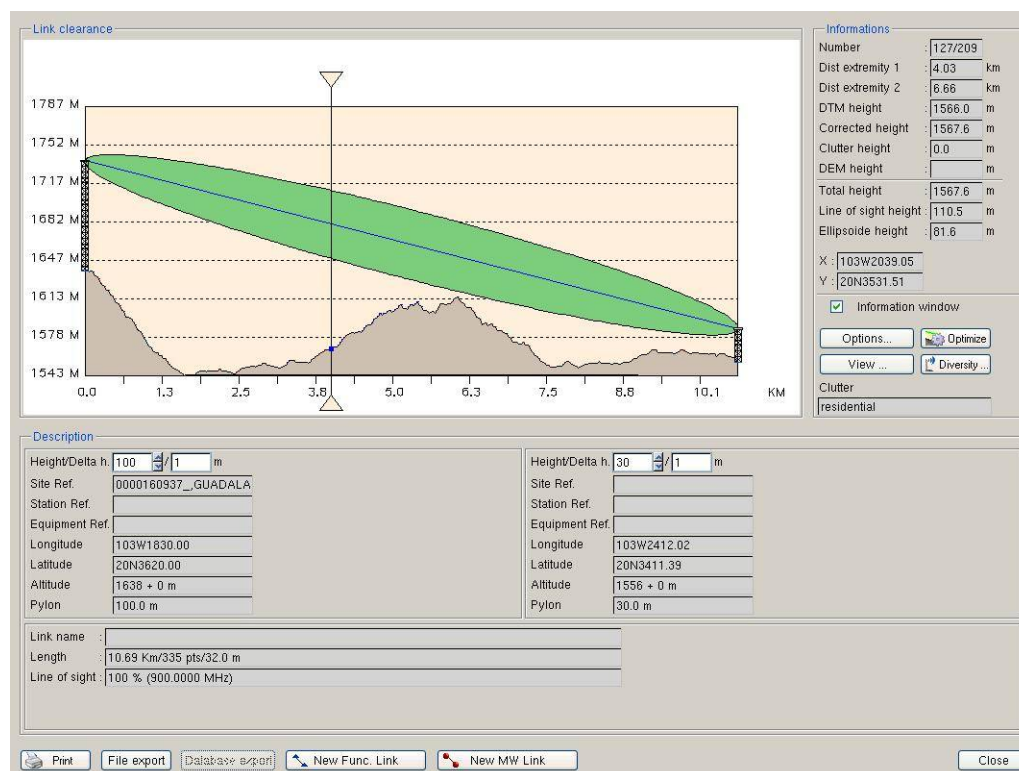


Figura 16. Perfil del enlace.



Dependiendo de la banda de frecuencias de estudio, de la información disponible en la región sobre vegetación o zonas urbanas (Digital terrain map) se tendrá un mayor o menor grado de precisión sobre el porcentaje de la línea de Fresnel libre de obstáculos. Como se muestra en la imagen previa.

En caso de que no se tenga una línea de vista franca entre extremos del enlace, será necesario optar por dos posibles soluciones: Si el perfil está muy próximo a ser satisfactorio se pueden modificar las alturas de las antenas en las torres de telecomunicaciones elevando estas hasta encontrar el resultado satisfactorio, o bien, si la orografía de la zona no permite lo anterior, se deberá mover alguno de los extremos en las coordenadas a fin de descartar los obstáculos orográficos que impedían tener la línea de vista de manera franca.

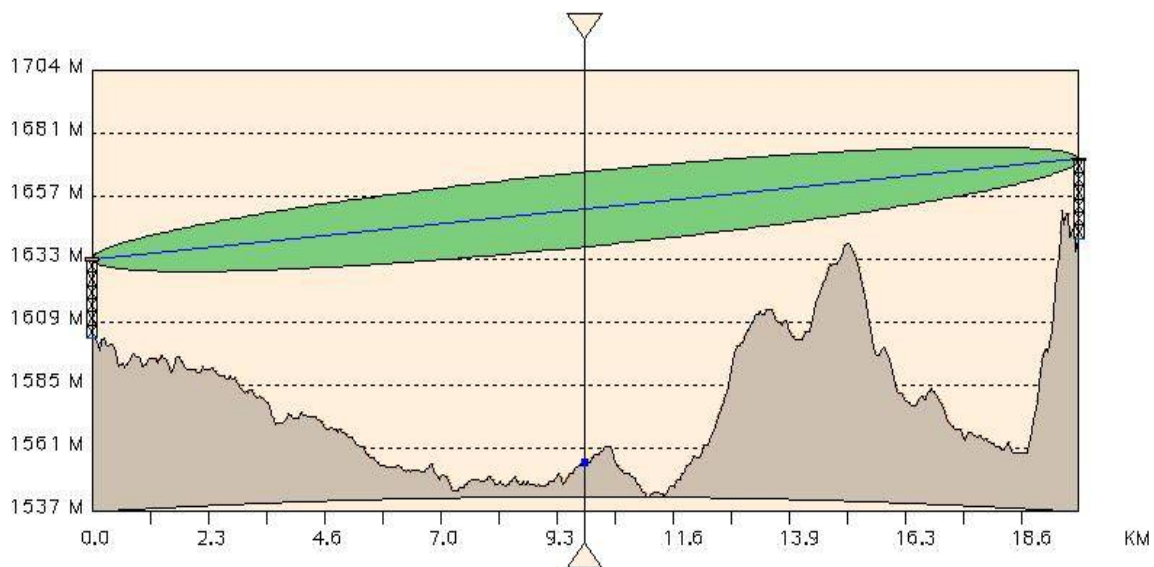


Figura 17. Línea de vista



Este proceso se repite a lo largo de la red troncal hasta haber revisado los enlaces en su conjunto, los resultados de forma individual se ejemplifican en el apartado de planos y diagramas correspondiente.

Revisión de la cobertura Individual.

Se realiza tanto para los enlaces troncales como para las radiobases y repetidores a fin de verificar que el sistema cumpla con los compromisos de cobertura y calidad necesarios para que la CNA lleve a cabo sus fines encomendados.

El estudio de cobertura individual también es necesario llevarlo a cabo para cada una de las estaciones, un detalle de los resultados obtenidos se presenta en el Anexo "4. Planos y Diagramas" del presente trabajo.

Revisión de la cobertura múltiple.

En este estudio se revisa de manera integral a la red de telecomunicaciones a fin de verificar que se cuente con cobertura a lo largo de todos los Sitios críticos identificados previamente.

A su vez, este resultado nos sirve como un indicador preliminar para proponer el reutilización de pares de frecuencias alternados entre estaciones repetidoras haciendo un uso más eficiente del espectro radioeléctrico.



Cuando se han identificado zonas sin la cobertura deseada, será necesario modificar la ubicación de los sitios próximos o varias los parámetros de potencia y altura de antenas a fin de bañar adecuadamente la zona que no contaba con la cobertura.

Una vez revisada, con resultados satisfactorios, la totalidad de la red de telecomunicaciones se puede concluir esta revisión y pasar a la etapa de determinación de los pares de frecuencia disponibles en cada zona.

De acuerdo con los requerimientos de la CNA, se realizaron estudios en la banda de frecuencias del espectro radioeléctrico de 450 a 470 MHz para los sistemas móviles.

El primer paso consistió en realizar la captura de la información geográfica y técnica de cada una de los sitios, estaciones y/o enlaces punto a punto, así como llevar a cabo la vinculación entre radiobases y equipos móviles o portátiles correspondientes.

En el Sistema Ellipse el ingreso de la información se realizó en un módulo administrativo configurado a modo de formatos de captura, en los cuales cada formato corresponde a una entidad técnica como lo es el sitio, la estación y los enlaces punto a punto. Estas entidades están a su vez vinculadas a listas de valores de la configuración inicial con las cuales se puede tener asociados datos como estados y municipios dentro de los cuales se ubican las



coordenadas geográficas que se hayan capturado, pero también para cada una de las bandas de frecuencias de interés, se tienen asociados los planes de canalización precargados, mismos que cumplen con las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

De acuerdo con el Cuadro Nacional de atribución de Frecuencias la banda de 450 a 470 MHz, se encuentra atribuida al servicio móvil por lo que el sistema de radiocomunicación que se pretende operar puede emplear frecuencias de dicha banda del espectro radioeléctrico.

En el Anexo "4. Planos y Diagramas" del presente trabajo se presentan las imágenes equivalentes a las del despliegue de la red de radiocomunicación que, como resultado del estudio de compatibilidad electromagnética, se pudo autorizar en aquel momento para la Comisión Nacional del Agua en la Región Hidrológica Lerma - Santiago (RH12).

Cabe recalcar que, como se expuso al inicio del presente trabajo, ciertos datos considerados sensibles a comprometer la seguridad nacional dentro de sectores estratégicos de nuestro país, como lo son las vías generales de comunicación y el sector hidráulico nacional en la captación, almacenamiento y distribución del agua, se variaron para no poner en riesgo dicha información. Sin embargo, la metodología empleada así como las consideraciones y herramientas empleadas fueron las descritas.



PLANOS Y DIAGRAMAS

Ver Anexo A.

CONCLUSIONES.

Así, tras los estudios de cobertura individual, cobertura múltiple, y compatibilidad electromagnética, se pudieron determinar aquellos Sitios críticos a para el otorgamiento de la autorización para instalar y operar una red de radiocomunicación de la Comisión Nacional del Agua en la RH12.

La propuesta final, consistió en un sistema de radiocomunicación privada que se compone de los siguientes subsistemas agrupados por Estado:

Tabla 6. Propuesta para la red.

No.	Estado	Bases	Repetidores
1	Aguascalientes	12	2
2	Colima	4	1
3	Guanajuato	22	3
4	Jalisco	8	3
5	México (central)	9	3



6	Michoacán (zona sur y poniente).	12	3
7	Nayarit (zona oriente).	13	4
8	Querétaro (zona sur)	17	3
9	Zacatecas (zona sur).	8	3
TOTALES		105	25

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han demostrado ser una herramienta valiosa para la administración, consulta, visualización y análisis de datos, y por ende para su aplicación en temas relacionados con la Ingeniería Civil.

Las aplicaciones existentes y las que se lleguen a demandar, se adaptan muy fácilmente a las necesidades de cada proyecto en el campo de la ingeniería civil que se pueda imaginar, como por mencionar algunas cuantas más, el manejo de vientos, en el análisis de riesgos por huracanes, o la instalación de una central eólica, etc. Estos proyectos dan muestra del amplio rango de aplicaciones que tienen los SIG como una herramienta más al servicio de la Ingeniería Civil.

Durante el desarrollo del caso práctico aquí presentado se modelaron propuestas tendientes a la optimización de los recursos tecnológicos de la red que se pretende instalar.



Los SIG y en particular el Arc View, son herramientas muy útiles para desarrollar análisis como el presentado en el presente trabajo y los propuestos para el futuro inmediato en cualquier diseño de redes de tipos similares sean eléctricas, de gas natural, de redes de comunicación de tipo cableadas, de agua y alcantarillado, de simulación en rutas de autotransporte, etcétera.

BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA.

Productos generados por la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, cuyo cuidado editorial estuvo a cargo de la Gerencia de Cuencas Transfronterizas de la Comisión Nacional del Agua:

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.

Edición 2007

ISBN: 978-968-817-880-5

Autor: Comisión Nacional del Agua

Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo

C.P. 04340, Coyoacán, México, D.F.

Tel. (55) 5174-4000

Editor: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209 Col. Jardines de la Montaña,

C.P 14210, Tlalpan, México, D.F.



“Basic Principles of Geographic Information Systems”.

Seminario Internacional de Sistemas de Información Geográfica.

Peter A. Burrough AND Rachael A. McDonnell

OXFORD UNIVERSITY PRESS 1998

XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica.
Facultad de Geografía UAEM. Toluca, Estado de México. 2011.

Boletín IIE, 2007 “Aplicación de los sistemas de información geográfica en la ingeniería civil” por: Ing. Uilises Mena Hernández, Miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

ATLAS DIGITAL

<http://siga.cna.gob.mx/Atlas/>

Subgerencia de Información Geográfica del Agua (SIGA)

<http://siga.cna.gob.mx/>

Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)

<http://201.116.60.25/sina/>



IRIS. Del Instituto Nacional de Estadística y Geografía

<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=geo&c=1362>

Atlas Nacional de Riesgos

<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>

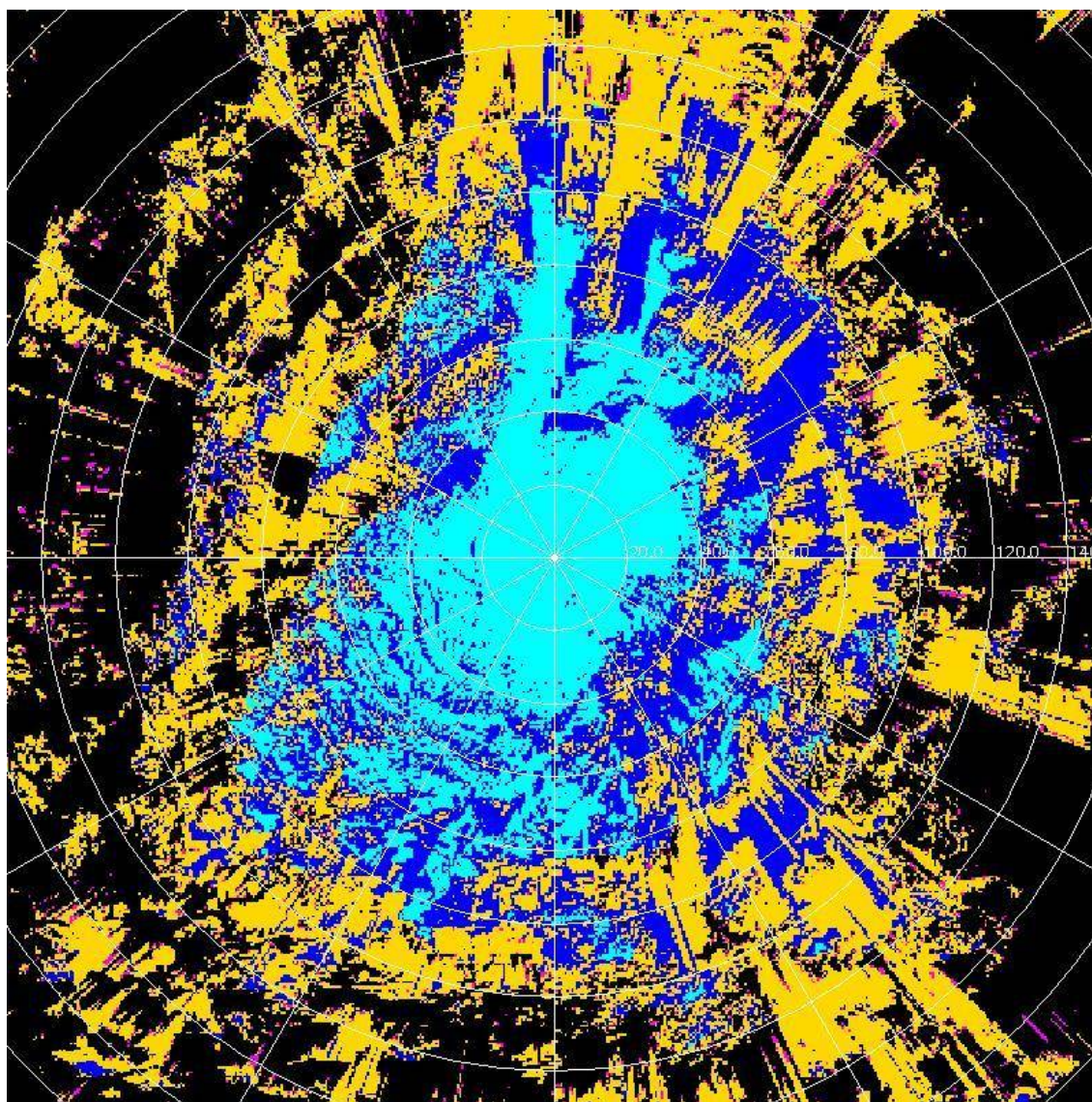
ESRI. ARC-INFO. Starter Kit, TIN

<http://resources.arcgis.com/en/home/>



Anexo A

Mapas de la red.



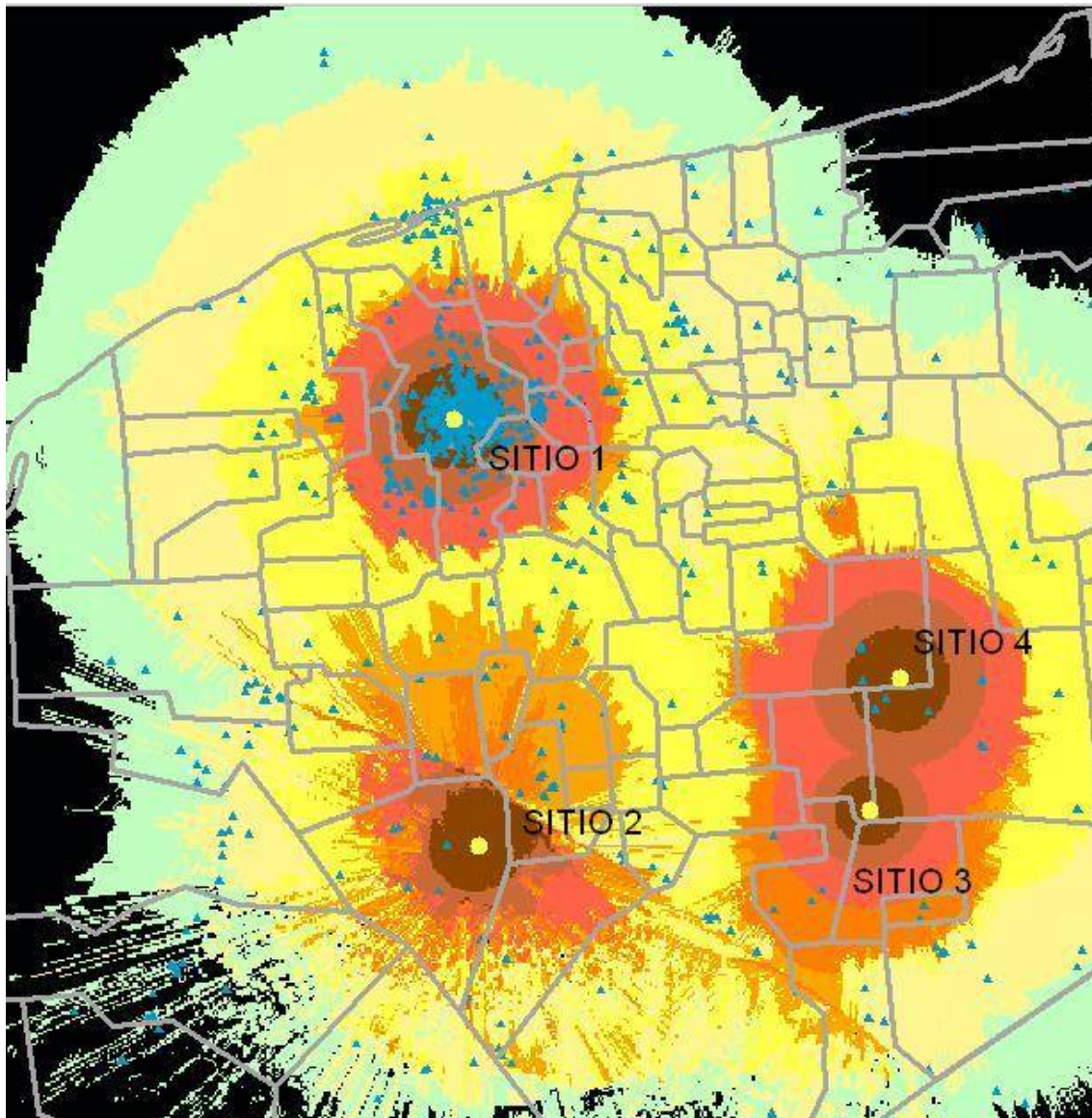
1. Cobertura de la zona de Aguascalientes. Radio de operación 100km.

 Buena

 Aceptable

 Suficiente o intermitente.





2. Cobertura múltiple fuera de la zona urbana garantizada por la zona amarilla.