

# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y  
ELÉCTRICA**

**ESTADO DE SONORA: GOBIERNO DIGITAL**

## **DISEÑO DE LA RED TRONCAL DEL ESTADO DE SONORA**

**Presentan:**

**Dr. Jorge Roberto Sosa Pedroza**

**M. en C. Fabiola Martínez Zúñiga**

**Dra. Martha Cecilia Galaz Larios**

Ciudad de México, febrero 2024



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



## Contenido

Diseño de la red Troncal del Estado de Sonora.....	3
1. Diagnóstico de la infraestructura de comunicaciones de Sonora.....	6
1.1 Elaborar un acuerdo con las Secretarías del Estado. ....	6
1.2 Diseñar formatos, encuestas y herramientas informáticas para el levantamiento de la infraestructura. ....	8
1.3 Realizar juntas con los representantes técnicos de cada secretaría.....	11
1.4 Analizar la información que nos envía el estado. ....	14
1.5 Analizar la información de la red de fibra óptica de CFE - Internet para todos y la red de Altán.....	24
2. Diseño de la red troncal.....	28
2.1 Definir prioridades de conectividad.....	28
2.2 Definir las características de la red primaria que alimentará las comunicaciones del estado de Sonora. ....	34
2.2.1 Parámetros de conectividad .....	56
2.2.2 Diseño de los enlaces de microondas.....	65
2.3 Diseñar la topología de la red.....	67
2.3.1 Descripción de la red troncal.....	70
2.3.2 Reporte de los enlaces de microondas.....	81
2.3.3 Red troncal integrada.....	87
Conclusiones y recomendaciones.....	97



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



## Diseño de la red Troncal del Estado de Sonora

El Gobierno del estado de Sonora tiene el propósito de contar con una Red Troncal de Comunicaciones que cumpla con las funciones de:

1. Optimizar los recursos empleados en los sistemas de comunicaciones del Estado reduciendo el costo que ello implica, mediante la creación de una red troncal única que conecte a todas las entidades de gobierno, tanto municipales como de la administración estatal en todo el territorio de Sonora.
2. La Red Troncal permitirá además proporcionar conectividad accesible a las comunidades que no cuentan con servicios de Internet o de telefonía móvil.
3. Ampliar la Red Estatal de Seguridad que permita la comunicación entre el C5 y las policías municipales y las corporaciones federales de seguridad.

Para atender lo anterior el Gobierno del Estado solicitó el apoyo del Instituto Politécnico Nacional, a través del Laboratorio Nacional en Telecomunicaciones y Antenas (LaNTA) de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, considerando la experiencia de los investigadores de ese laboratorio en el diseño de sistemas de comunicaciones similares a la red que ahora se plantea para Sonora.

Para cumplir el mandato del Gobierno del Estado de Sonora, el Instituto Politécnico Nacional formó un equipo de ingenieros en comunicaciones y electrónica con amplia experiencia en el diseño de redes de comunicaciones, quienes han participado en proyectos similares tanto para gobiernos estatales como para el Gobierno Federal.

El diseño de la red de comunicaciones se dividió en cuatro actividades independientes que, como conjunto, permiten tener el diseño final:



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



- a. Definición de las necesidades de conectividad de las dependencias del gobierno estatal.
- b. Definición de las necesidades de conectividad de los municipios del estado.
- c. Diseño de la red troncal usando la red de fibra óptica de CFE
- d. Diseño de la red complementaria a partir de la de CFE, para dar cobertura a las 72 cabeceras municipales

Para cubrir con el punto a) se diseñó una encuesta que fue entregada a todas las dependencias del gobierno, solicitando su apoyo para conocer tanto la infraestructura de comunicaciones con que contaban, así como sus requerimientos actuales y futuros de conectividad. Una información importante necesaria era conocer el tipo de servicio y el operador que lo ofrece actualmente; encontramos que en muchos casos cada oficina había contratado el servicio de internet por cuenta propia, con una gran diversidad de velocidades y de costos.

Para el punto b) la información para determinar las necesidades de conectividad de los municipios se obtuvo mediante la consulta de bases de datos, principalmente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La información obtenida nos permitió saber tanto el número de habitantes por comunidad municipal, como por vivienda, igualmente el número de escuelas, centros de educación superior y hospitales. Las necesidades de conectividad municipal fueron complementadas con información de las dependencias gubernamentales sobre las oficinas en cada municipio, así como la georreferenciación de escuelas y hospitales.

Para cumplir con el diseño de la red se requiere información actualizada para definir los requisitos de conectividad tanto de las dependencias del estado, como de los municipios y de la población en general. La recopilación de la información fue una tarea ardua, en la encuesta diseñada se solicitaban datos sobre el número y localización georreferenciada de los edificios de cada dependencia, las necesidades actuales de conectividad, así como de la infraestructura de



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



comunicaciones, incluyendo las redes particulares en los mismos, un rubro muy importante fue la petición de las torres de comunicaciones con que contaban. La recopilación de información incluyó también al INEGI, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la Comisión Federal de Electricidad-Telecomunicaciones e Internet para Todos, la Secretaría de Marina y Altán Redes. Todos los datos obtenidos dieron como resultado tanto la conectividad total como la particular en cada uno de los municipios. En general la información se clasificó en cuatro grandes rubros: población, escuelas, hospitales y dependencias por cada municipio.

El presente reporte tiene la finalidad de describir la metodología de trabajo para el diseño de la red y poner las bases para la implementación de una Red Troncalizada Única.

El estudio contempla los siguientes puntos del anexo técnico:

## 1. Diagnóstico de la infraestructura de comunicaciones de Sonora

*1.1 Elaborar un acuerdo con las Secretarías del estado.*

*1.2 Diseñar formatos, encuestas y herramientas informáticas para el levantamiento de la infraestructura.*

*1.3 Realizar juntas con los representantes técnicos de cada secretaría*

*1.4 Analizar la información que nos envía el estado.*

*1.5 Analizar la información de la red de fibra óptica de CFE- internet para todos y la red de Altán.*

## 2. Definir prioridades de conectividad

*2.2 Definir características de la red primaria que alimentará las comunicaciones del estado de Sonora.*

*2.3 Diseñar la topología de la red*



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



3. Evaluación de las propuestas técnico-económicas recibidas por el estado

*3.1 Verificar las propuestas con base en los términos de referencia.*

## **1. Diagnóstico de la infraestructura de comunicaciones de Sonora**

### **1.1 Elaborar un acuerdo con las Secretarías del Estado.**

El Gobernador del Estado de Sonora representado por el Dr. Alfonso Durazo Montaña y el Dr. Arturo Reyes Sandoval representando al Instituto Politécnico Nacional el día 09 de junio de 2023 se reunieron para firmar un convenio de colaboración general entre estas dos entidades. Al amparo de este convenio general se firmó un convenio de colaboración específico que tiene como finalidad **desarrollar los estudios técnicos necesarios para la adecuada definición del alcance definitivo del proyecto de construcción y puesta en operación de una Red Única administrada por el Estado de Sonora, para la optimización de los recursos usados en materia de telecomunicaciones**, para este propósito en el IPN se nombró al Dr. Jorge Roberto Sosa Pedroza como director Técnico del Proyecto y por parte del estado el representante legal y técnico es el Subsecretario de Gobierno **Digital de Sonora** al Ing. Luis Javier Ortega Cisneros.



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



*Imagen 1. Reunión de la firma del convenio general*

Este importante evento encabezado por los titulares de las dependencias fue el marco legal que permitió iniciar con los trabajos para poder llegar al diseño de la Red Troncal Única en materia de Telecomunicaciones. Para iniciar con los trabajos técnicos, el equipo de especialistas el IPN en colaboración con el Subsecretario de Gobierno Digital llevaron a cabo una reunión en las oficinas centrales del Gobierno del Estado, con la finalidad de dar a conocer a todas las dependencias el alcance del proyecto.

Uno de los temas principales de la reunión fue establecer un objetivo común para el Gobierno del Estado, el uso eficiente de recursos humanos, infraestructura y recursos financieros. Se estableció que a través de las facultades que la nueva Ley en materia de Telecomunicaciones otorga a Gobierno Digital, todos los proyectos que se autoricen sobre esta materia deberán ser auditados por esta dependencia, en este sentido los acuerdos que se tomaron fueron los siguientes:

- Nombrar un representante técnico por dependencia.
- Responder a las encuestas para conocer la infraestructura con la que cuenta el estado.



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



## 1.2 Diseñar formatos, encuestas y herramientas informáticas para el levantamiento de la infraestructura.

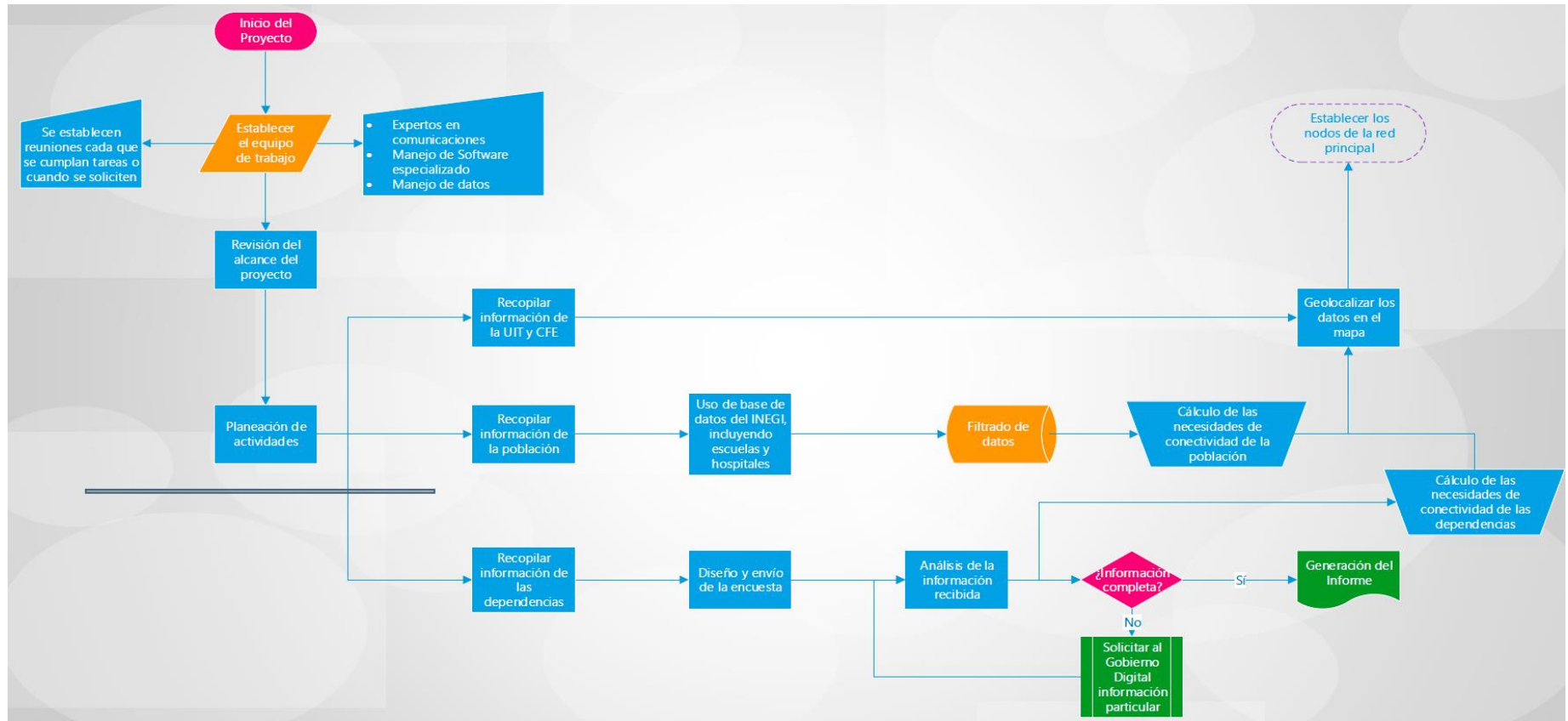


Figura 1. Diagrama de bloques de la metodología del proyecto



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



En la Figura 1 se describe la metodología que nos permite llevar a cabo el diseño de la Red Troncal Única.

Para lograr este objetivo como primer paso, se integró un equipo de trabajo de especialistas en el ramo de las telecomunicaciones, informática, sistemas computacionales, energía eléctrica, contaduría y administración de empresas. Toda vez que el equipo estuvo integrado se estudió con mucho detenimiento y profundidad el alcance de los objetivos particulares y general para poder definir las tareas a seguir. En este sentido se establecen tres líneas de acción muy específicas.

1.- Consultar y estudiar todo lo referente a las capacidades instaladas en materia de infraestructura de Telecomunicaciones en el estado, para ello dos fuentes son las referencias más importantes para este diseño: la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) donde se puede consultar la red de fibra óptica implementada y operando, tanto de empresas privadas como estatales y la Comisión Federal de Electricidad en su rama de Telecomunicaciones e Internet para Todos (CFE-TEIT).

2.-Consultar y estudiar todas las bases de datos que nos proporcionen información sobre la población total del estado, la principal fuente de información es la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en esta consulta además de conocer datos sobre población, también nos enfocamos en las estadísticas de hospitales y escuelas.

3.- Recopilar información sobre las dependencias del estado. En esta línea de acción la participación del personal técnico de cada entidad del estado resultará esencial.

Estas líneas de acción tienen como objetivo común poder generar un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permita visualizar de manera muy sencilla y gráfica diferentes capas de información con la finalidad de tomar decisiones sobre la conectividad del estado, para un uso eficiente de los recursos.

Para poder llevar a cabo la tercera línea de acción, el IPN diseñó e implementó una encuesta, la cual antes de ser enviada a las dependencias fue analizada en cuatro reuniones técnicas con el personal técnico de Gobierno Digital, encabezado por los ingenieros Luis Javier Ortega Cisneros y Joseph Dyck.



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



La encuesta tiene como objetivo realizar el diagnóstico de la infraestructura de comunicaciones, para ello se solicita que las dependencias brinden la información y contesten la encuesta, la cuál de forma resumida solicita información en los siguientes rubros:

1. Identificación del titular técnico de la dependencia: Nombre completo, correo electrónico, teléfono, Dirección de la dependencia donde labora, área de trabajo a la que pertenece y puesto o función que desempeña.
2. Servicios de comunicaciones con los que cuenta la dependencia
3. Torres de telecomunicaciones: Incluye su localización, uso, y comentarios adicionales de las torres
4. Casetas de comunicaciones: Incluye su localización y comentarios adicionales de las casetas de comunicaciones
5. Enlaces de microondas punto a punto y punto multipunto: Incluye número de enlaces punto multipunto existentes, su estado físico, características operativas actuales y comentarios adicionales referentes a los enlaces punto a punto y punto multipunto
6. Antenas adicionales y comentarios referentes a las antenas adicionales
7. Enlaces de fibra óptica existentes, su estado y características operativas actuales, solicitud de los archivos KMZ con la ubicación de enlaces de fibra óptica,
8. Servicios de telefonía
9. Servicio de internet: Estatus del servicio, proveedores, características del servicio de internet contratado, características contratadas, políticas de restricción en el servicio de internet de la dependencia, calidad de servicio de internet, topología de la red de la dependencia y comentarios adicionales referentes al servicio de internet
10. Como mejorar la red para tener un trabajo más eficiente.
11. Áreas donde la falta de red o problemas con una red existente obstaculicen el realizar un trabajo
12. Servicios de comunicaciones adicionales se necesitan en la dependencia.
13. Comentarios adicionales referentes a las necesidades de la dependencia
14. Información correspondiente a los centros de datos

Como se puede leer, la información que se solicita es muy amplia y permite tener un diagnóstico preciso de las diferentes redes de Telecomunicaciones con las que cuenta el estado.



### 1.3 Realizar juntas con los representantes técnicos de cada secretaría.

Como se mencionó en el apartado anterior una de las actividades esenciales para poder realizar un diagnóstico se necesita de la participación activa de los representantes técnicos de las entidades involucradas es de gran relevancia, por ello el día 13 de septiembre, en el Estado de Sonora, la subsecretaria de Gobierno Digital a través del Ing. Luis Javier Ortega Cisneros, convocó una reunión con 20 dependencias del Estado y los representantes del IPN para hacerles saber la importancia de tener una red única de telecomunicaciones y tratar de unificar lo que se tiene hasta el momento, con el fin de tener un uso eficiente de los recursos económicos y buscar potenciar la infraestructura instalada, para mejorar la de telecomunicaciones para el Estado.

En esta reunión el equipo de LaNTA del IPN se entrevistó con las dependencias para informarles del proyecto y explicarles en contenido de la encuesta y la importancia que ellos representan para el suministro de información. A continuación, se enlistan las dependencias que asistieron:

*Tabla 1. Dependencias consideradas en Sonora*

No.	Dependencia	Titular Administrativo
1	Secretaría de Seguridad Pública	María Dolores Del Río Sánchez
2	Ejecutivo del Estado	Celida Teresa López Cárdenas
3	Oficialía Mayor	Franco Gerardo Marcello Fabbri Vázquez
4	Secretaría del Trabajo	Francisco Vázquez Valencia
5	Secretaría de Turismo	Roberto Gradillas Pineda
6	Secretaría de Educación y Cultura	Aarón Aurelio Grageda Bustamante
7	Secretaría de Economía	Margarita Vélez de la Rocha



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



8	Radio Sonora	Tirso Amante Jerez
9	TELEMAX	Karla Paulina Ocaña Encinas
10	Secretaría de Hacienda	José Manuel Quijada Lamadrid
11	Secretaría de Gobierno	Adolfo Salazar Razo
12	Secretaría de la Contraloría General	Guillermo Alejandro Noriega Esparza
13	Secretaría de la Consejería Jurídica	Adriel Córdova Pimentel
14	Telefonía Rural	Ariel Francisco Castillo Maldonado
15	Secretaría de Desarrollo Social	María Wendy Briceño Zuloaga
16	Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano	Omar Francisco del Valle Colosio
17	Secretaría de Salud Pública	José Luis Alomía Zegarra
18	ISSSTESON	Froylán Gámez Gamboa
19	SAGARHPA	Fátima Yolanda Rodríguez Mendoza
20	DIF	Lorenia Iveth Valles Sampedro



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



*Imagen 2. Reunión de apertura con las dependencias en Sonora*



*Imagen 3. Reunión con las dependencias para revisar la encuesta*



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



Imagen 4. Reunión 14-septiembre-2023 en el C5 Sonora



Imagen 5. Reunión con una dependencia para revisar la encuesta

#### 1.4 Analizar la información que nos envía el estado.

Como primer paso para el diseño de la red, se creó una encuesta en la que se buscó determinar la situación de los sistemas de comunicación en el estado de Sonora. La encuesta se envió a cada una de las dependencias mediante la creación de un formulario en la plataforma Microsoft Forms, mediante reuniones remotas realizadas periódicamente se llegó a la versión final de la encuesta, donde, a solicitud de las dependencias, además de preguntas se diseñaron hojas de cálculo para simplificar el llenado y análisis de la información, las hojas de cálculo se emplearon en todos los rubros donde se requería conocer características técnicas de los equipos e infraestructura con los que cuenta el estado, por ejemplo, torres, antenas, casetas, equipos transmisores, equipos de red, fibra óptica, enlaces de radiocomunicaciones (punto a punto y punto multipunto), estado operativo de los equipos, fechas de último mantenimiento, ubicación (latitud y longitud) de equipos, etcétera.

La encuesta consiste en 10 secciones y 33 preguntas totales, los rubros en los que se divide la encuesta se mencionaron en el apartado 1.2 de este documento. En la Figura 2 se muestra la portada de la encuesta realizada y anexo a este documento se encuentra la encuesta completa.



## Encuesta para el diagnóstico de la infraestructura de comunicaciones del Estado de Sonora

### Objetivo

El objetivo de la encuesta es recopilar la información necesaria para realizar el diagnóstico de las condiciones actuales de la infraestructura y servicios de comunicaciones con los que cuenta el Estado de Sonora. Dicha información servirá de soporte para realizar el diseño de la red troncal del Estado de Sonora a través de la identificación del alcance y las necesidades de cada una de las dependencias involucradas.

### Dudas y soporte

[lanta@sonora.gob.mx](mailto:lanta@sonora.gob.mx)

Sección 1

...

### Datos de contacto

La encuesta deberá ser contestada por personal técnico calificado con amplio conocimiento de la infraestructura y servicios de cada una de las dependencias involucradas.

1. Nombre completo \*

Escriba su respuesta

2. Correo electrónico \*

Escriba su respuesta

3. Teléfono \*

Figura 2. Portada de la encuesta enviada a las dependencias



## 1. Encuestas a las dependencias

El equipo del LaNTA-IPN recibió 34 encuestas, las cuales fueron respondidas por las dependencias del estado. Una vez que éstas se analizaron con el equipo de especialistas, se tuvieron entrevistas con cada uno de los representantes técnicos y el equipo de la subsecretaría del Estado de Sonora, para transmitir los resultados del análisis y en su caso solicitar la información faltante.

En la tabla siguiente se muestra un listado de las dependencias que nos enviaron su información.

*Tabla 2. Información de las dependencias*

No.	Dependencia	Titular Administrativo	Entrega de información
1	Secretaría de Seguridad Pública	María Dolores Del Río Sánchez	Si
2	Ejecutivo del Estado	Celida Teres López Cárdenas	Si
3	Oficialía Mayor	Franco Gerardo Marcello Fabbri Vázquez	Si
4	Secretaría del Trabajo	Francisco Vázquez Valencia	Si
5	Secretaría de Turismo	Roberto Gradillas Pineda	Si
6	Secretaría de Educación y Cultura	Aarón Aurelio Grageda Bustamante	Si
7	Secretaría de Economía	Margarita Vélez de la Rocha	No
8	Radio Sonora	Tirso Amante Jerez	Si
9	TELEMAX	Karla Paulina Ocaña Encinas	Si
10	Secretaría de Hacienda	José Manuel Quijada Lamadrid	Si



11	Secretaría de Gobierno	Adolfo Salazar Razo	Si
12	Secretaría de la Contraloría General	Guillermo Alejandro Noriega Esparza	Si
13	Secretaría de la Consejería Jurídica	Adriel Córdova Pimentel	Si
14	Telefonía Rural	Ariel Francisco Castillo Maldonado	Si
15	Secretaría de Desarrollo Social	María Wendy Briceño Zuloaga	Si
16	Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano	Omar Francisco del Valle Colosio	Si
17	Secretaría de Salud Pública	José Luis Alomía Zegarra	No
18	ISSSTESON	Froylán Gámez Gamboa	Si
19	SAGARHPA	Fátima Yolanda Rodríguez Mendoza	Si
20	DIF	Lorenia Iveth Valles Sampedro	Si

- **Resumen de las encuestas**

De la encuesta realizada, se recibieron 34 respuestas como se muestra en la Figura 3, cabe señalar que ese número se debe a que algunas de las dependencias contestaron más de una vez y que en algunos casos no se recibió información por este medio.



Encuesta para el diagnóstico de la infraestructura de comunicaciones del Estado de Sonora

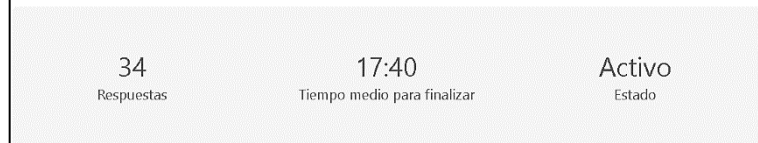
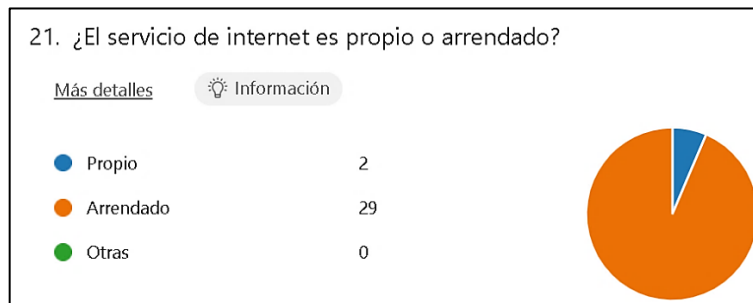
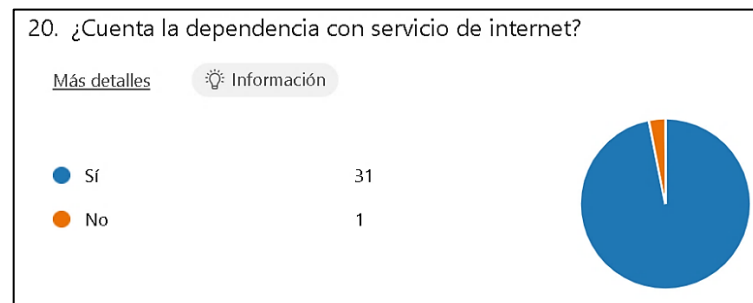


Figura 3. Respuestas recibidas

• **Sobre el servicio de internet**

Considerando las 34 respuestas recibidas, 31 indicaron que sí cuentan con internet y una dependencia indicó que no cuenta con servicio, 2 dependencias indican que el internet es propio y 29 indicaron que el servicio de internet es arrendado, el 83% indicó que el proveedor de servicio de internet es TELMEX, 29 respuestas indican que el servicio de internet si cumple con las características contratadas, mientras que 2 indicaron que su servicio no cumple. Las dependencias califican el servicio de internet entre bueno y regular, con una calificación promedio de 7.4, la figura 4 muestra el resumen de este rubro.



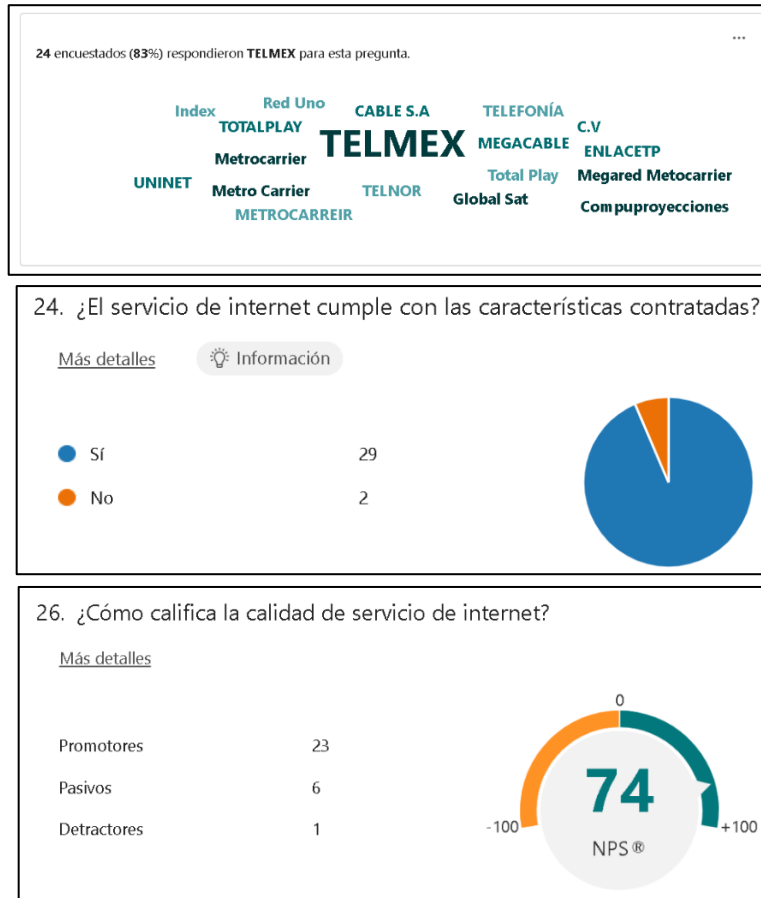


Figura 4. Respuestas sobre el servicio de internet

• **Sobre los servicios de comunicaciones adicionales que se necesitan**

En el rubro de servicios de comunicaciones adicionales, se recibieron 23 respuestas, siendo la respuesta que se repite un mayor número de veces “Ninguno” representando 14% de las respuestas y “Ninguna” con el 9%. En la Figura 5 también se leen palabras como “video vigilancia”, “Access Point”, “cámaras IP”, “internet”, “fibra óptica”.

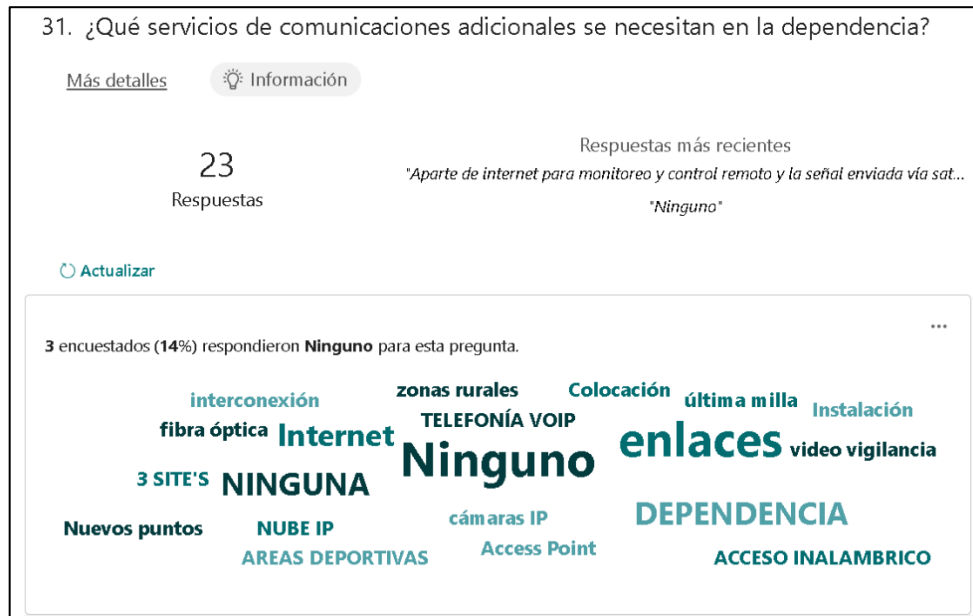


Figura 5. Servicios de comunicaciones adicionales

- **Sobre características de infraestructura y equipos instalados de las dependencias del estado**

Para el caso de los rubros sobre infraestructura y equipos (torres, antenas, casetas, equipos para enlaces, etc.) se presenta la Tabla 3, donde se observa el total de equipos empleados en el estado de Sonora y en la Tabla 4 se presentan las cantidades por dependencia, cabe señalar que para el llenado de las tablas se hace uso de la información recibida, por lo que en algunos casos no se cuenta con toda la información, pues no se dieron mayores detalles sobre equipos, o se dejó en blanco parte de la encuesta.

Tabla 3. Cantidad total de torres, antenas y enlaces en el estado de Sonora

<b>Total de torres</b>	424
<b>Torres propias</b>	308
<b>Torres no propias</b>	116
<b>Antenas totales instaladas en torres</b>	796
<b>Antenas propias instaladas en torres</b>	792



<b>Antenas no propias instaladas en torres</b>	4
<b>Antenas activas instaladas en torres</b>	775
<b>Total de casetas</b>	65
<b>Total de enlaces PtP</b>	124
<b>Enlaces PtP activos</b>	106
<b>Total de antenas adicionales</b>	14
<b>Antenas adicionales activas</b>	14
<b>Total de enlaces de F.O.</b>	65
<b>Enlaces propios de F.O.</b>	0

Tabla 4. Cantidad total de torres, antenas, enlaces y proveedores de telefonía por dependencia

Dependencia	Secretaría de Hacienda	Telefonía Rural	SAGARH PA	Secretaría de Gobierno	Secretaría de Turismo	Secretaría de la Contraloría General	Radio Sonora
<b>Total de torres</b>	9	207	0	0	0	4	37
<b>Torres propias</b>	6	207	0	0	0	0	13
<b>Torres no propias</b>	3	0	0	0	0	4	24
<b>Antenas totales instaladas en torres</b>	18	314	0	0	0	4	29
<b>Antenas propias instaladas en torres</b>	16	314	0	0	0	4	29
<b>Antenas no propias instaladas en torres</b>	2	0	0	0	0	0	0
<b>Antenas activas instaladas en torres</b>	14	314	0	0	0	4	29
<b>Total de casetas</b>	0	1	0	0	0	0	37



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



<b>Total de enlaces PtP</b>	1	58	0	0	0	2	0
<b>Enlaces PtP activos</b>	0	58	0	0	0	0	0
<b>Total de antenas adicionales</b>	0	14	0	0	0	0	0
<b>Antenas adicionales activas</b>	0	14	0	0	0	0	0
<b>Total de enlaces de F.O.</b>	0	14	0	0	0	0	0
<b>Enlaces propios de F.O.</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Proveedores de telefonía</b>	1	2	1	3	0	0	0
<b>Dependencia</b>	<b>DIF</b>	<b>Secretaría del Trabajo</b>	<b>Secretaría de la Consejería Jurídica</b>	<b>Secretaría de Seguridad</b>	<b>ISSSTES ON</b>	<b>Secretaría de Educación y Cultura</b>	<b>TELEMAX - SEC</b>
<b>Total de torres</b>	0	0	0	78	0	29	58
<b>Torres propias</b>	0	0	0	24	0	17	39
<b>Torres no propias</b>	0	0	0	54	0	12	19
<b>Antenas totales instaladas en torres</b>	0	0	2	366	10	49	0
<b>Antenas instaladas en torres propias</b>	0	0	2	364	10	49	0
<b>Antenas instaladas en torres no propias</b>	0	0	0	2	0	0	0
<b>Antenas activas instaladas en torres</b>	0	0	2	353	10	47	0
<b>Total de casetas</b>	0	0	0	20	1	6	0
<b>Total de enlaces PtP</b>	0	0	0	44	10	7	2



<b>Enlaces PtP activos</b>	0	0	0	41	0	5	2
<b>Total de antenas adicionales</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Antenas adicionales activas</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total de enlaces de F.O.</b>	0	29	0	22	0	0	0
<b>Enlaces propios de F.O.</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Proveedores de telefonía</b>	1	3	3	1	3	--	0

De acuerdo con las encuestas, las dependencias que presentan mayor cantidad de datos son la Secretaría de Hacienda, Telefonía Rural y Seguridad Pública, se observa que el estado de Sonora cuenta con torres en 69 de los 72 municipios con 424 torres instaladas de las cuales 308 son torres propias de las dependencias, mientras que 116 son torres no propias (aunque según las encuestas en varios casos se observó que algunas de estas torres sí pertenecen a instituciones de gobierno). En el rubro de antenas, el estado cuenta con 796, de las cuales 792 son propiedad del estado y 775 se encuentran operativas, por otro lado, existen un total de 124 enlaces punto a punto (PtP) de los cuales 106 se encuentran activos, solo Telefonía Rural presentó datos de antenas adicionales contando con 14, finalmente se observa que existen 65 enlaces de fibra óptica, en ningún caso se indica que sean enlaces propios.

Es importante señalar que los datos que se presentan en este documento representan solo un resumen del trabajo realizado, el diagnóstico completo se realizó de forma particular para cada dependencia. En la mayoría de los casos las dependencias no presentaron información indicando que no contaban con equipos, mencionando que algunas de las preguntas no eran aplicables. Aun así, se realizaron reuniones con las dependencias que realizaron el llenado de la encuesta para corroborar los datos recibidos por el equipo de LaNTA. Anexo a este documento se incluye el análisis del resultado de la encuesta para cada dependencia.



## **1.5 Analizar la información de la red de fibra óptica de CFE - Internet para todos y la red de Altán.**

El objetivo de tener una Red Troncal Única significa potenciar la infraestructura tanto Estatal como de la Federación, las acciones para poder lograrlo estuvieron encaminadas a realizar reuniones de trabajo con las siguientes dependencias:

1. Comisión Federal de Electricidad en su rama de Telecomunicaciones e Internet para Todos (CFE-TEIT).
2. Organismo Promotor de Inversiones de Telecomunicaciones (PROMTEL).

En ambos casos nos reunimos con los titulares de las dependencias: el Ing. David Pantoja Meléndez y la Ing. María de Lourdes Coss Hernández.

Derivado de estas reuniones, se lograron alianzas y acuerdos de conveniencia mutua. Entre lo más destacado podemos reportar que la empresa del Estado CFE-TEIT otorgará al Estado la conectividad a través de la su troncal de fibra óptica, lo que representa para el estado de Sonora un ahorro muy importante en materia de Servicios de Telecomunicaciones en general, pero esencialmente en Internet. En este mismo sentido y de forma paralela se trabaja en la firma de un convenio de colaboración con esta empresa del estado.

En función de nuestra investigación para conocer la infraestructura que se tiene en el estado se presentan los mapas donde existe cobertura o bien presencia de infraestructura de Telecomunicaciones en al estado.

En la Figura 6 se aprecia el mapa del tendido de la red de fibra óptica en el Estado, esta información se obtuvo de la plataforma de la UIT y se observa el trayecto de la fibra y el propietario de ésta. En el mapa se puede apreciar que el grueso de la infraestructura sigue las principales carreteras del país, siendo CFE quien cuenta con la mayor cantidad de fibra óptica tendida. También este mapa evidencia la falta de fibra óptica en la parte este del Estado, y esto se debe principalmente a la orografía de esa zona.

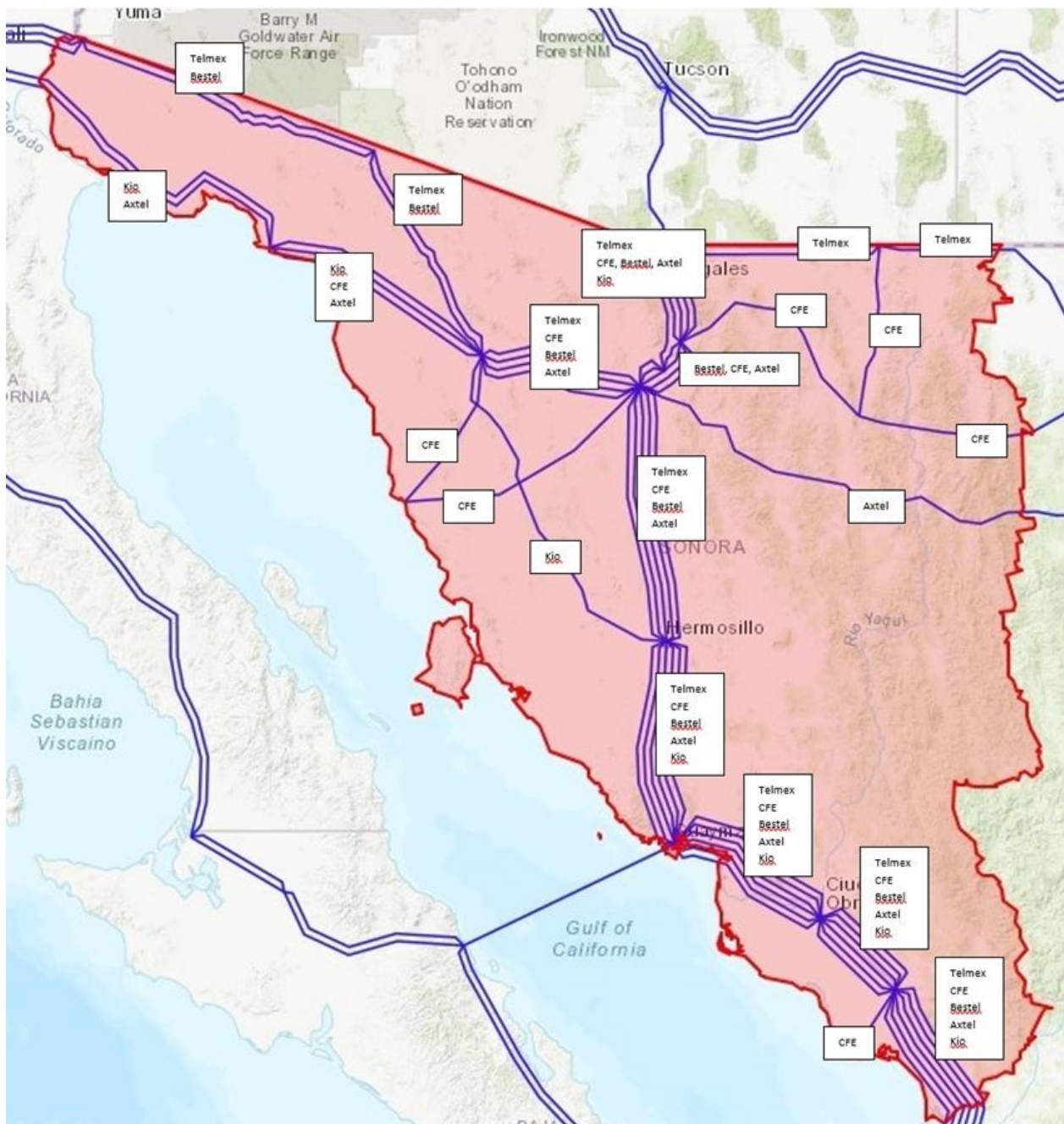


Figura 6. Mapa de infraestructura de la red de fibra óptica en el estado. (Fuente: UIT)

En la Figura 7 se muestra el mapa de cobertura de Altan, tomado de la página web de Altan redes, se puede observar que la cobertura de esta red no es muy amplia y cubre muy pocas poblaciones del territorio del estado. Es importante



mencionar que esta red es una red mayorista, es decir no llega al usuario final directamente, es necesario contar con un proveedor intermediario para tener acceso a ella.



Figura 7. Mapa de cobertura de la Red de Altán (Fuente: Altán Redes)



El mapa de la Figura 8, se obtuvo directamente de los datos que presenta la plataforma web de despliegue CFE-TEIT, en donde los círculos representan los lugares públicos de conexión a internet, principalmente centros escolares, plazas y edificios federales, entre otros. Los círculos rojos son los sitios con conexión a internet de 4G, los verdes los sitios con conexión satelital y los de color dorado los sitios con conexión ADSL (Asymmetric Digital Subscriber List).

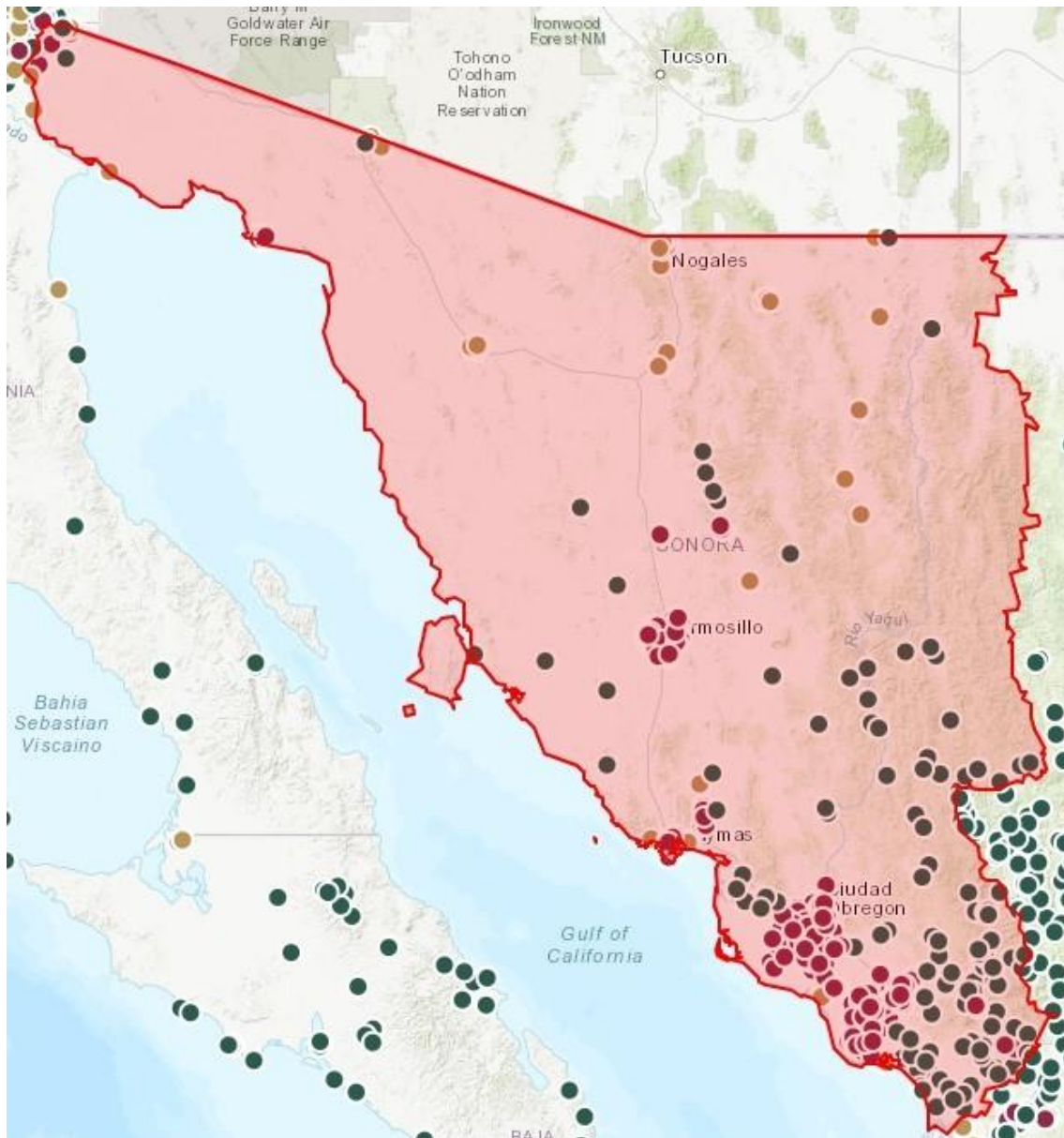


Figura 8. Mapa de cobertura de la Red de CFE-TEIT



## 2. Diseño de la red troncal.

### 2.1 Definir prioridades de conectividad.

Una vez realizado el diagnóstico de los equipos empleados por las dependencias, se realizó la búsqueda de información relacionada con los municipios, localidades, población, cantidad de escuelas, número de hospitales, centros de salud, cantidad de edificios de las dependencias y ubicación (latitud y longitud) para cada caso. El objetivo es el de identificar a las personas que se busca beneficiar con el diseño de la red troncal estableciendo prioridades y velocidad para cada localidad y municipio.

Para el cálculo de velocidad se estableció una metodología que consiste en tres pasos:

1. Búsqueda de información respecto a la población: Ubicación de municipios y localidades, número de habitantes y de viviendas, porcentaje de viviendas con conexión (telefonía e internet).
2. Búsqueda de información respecto a edificios gubernamentales, sector salud y escuelas: Ubicación de hospitales y escuelas, número de hospitales y de escuelas por municipio.
3. Cálculo de velocidad: Análisis de datos, donde se separa la información de cada municipio en tablas, se identifica el número de escuelas y hospitales que existen en cada municipio, se suma el total de viviendas, hospitales y escuelas, se asigna un plan de velocidad a viviendas, edificios de sector salud (clínicas y hospitales), escuelas (nivel básico, medio superior y superior) y edificios de las dependencias.

- **Búsqueda de información respecto a la población**

En este primer paso se realizó una investigación minuciosa de la población en cada municipio y localidad del Estado de Sonora. Se exploraron las ubicaciones geográficas de estos lugares, el número de habitantes y viviendas, así como el porcentaje de hogares que cuentan con servicio de internet. Estos datos recabados nos proporcionaron una visión detallada de la conectividad existente en cada zona del Estado y nos facilitó la planificación de la cobertura de los servicios.



En la figura 9 podemos ver un mapa del Estado de Sonora dividido en municipios y en la figura 10 (a), (b) y (c), se aprecian los municipios con localidades que cuentan con más de 50 habitantes.

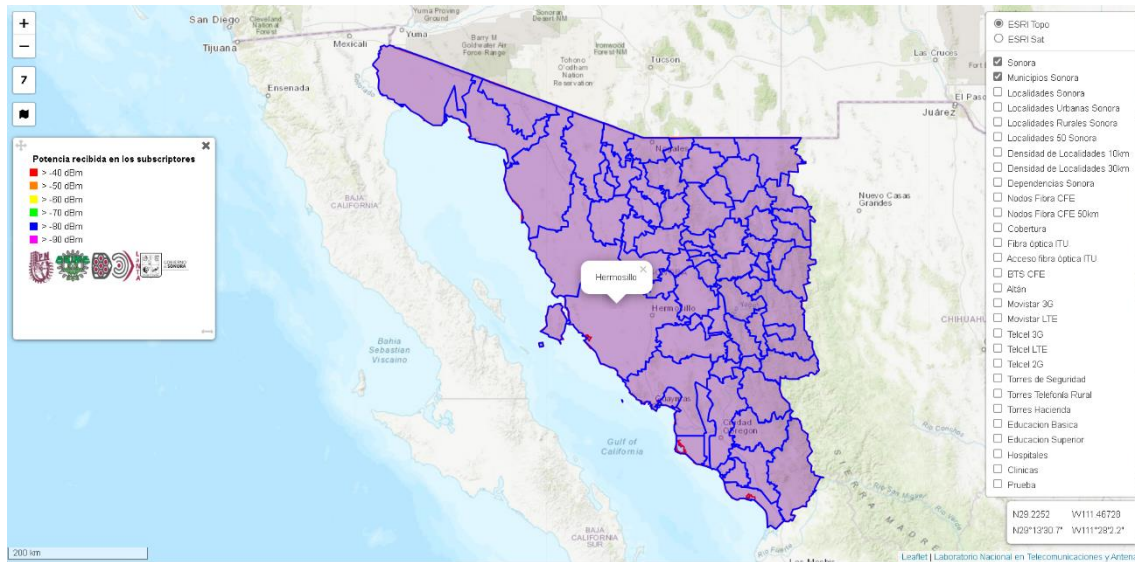
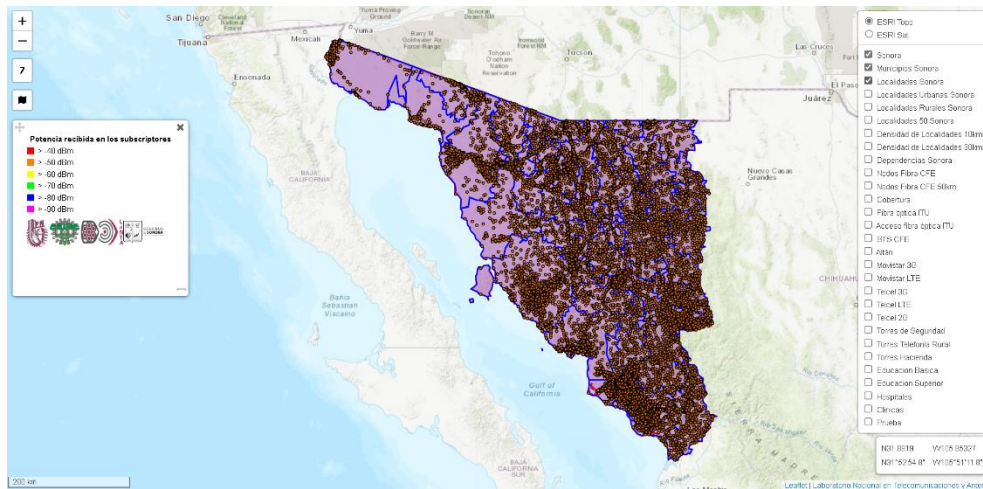
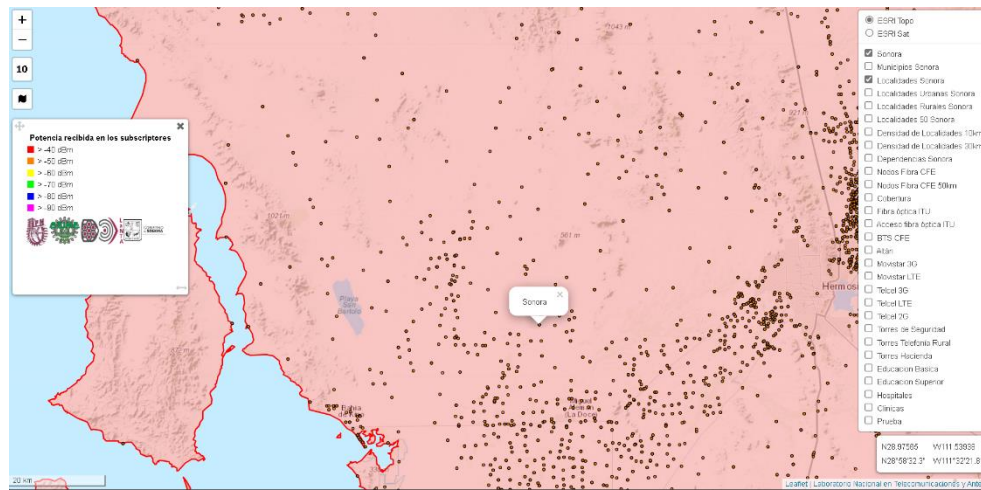


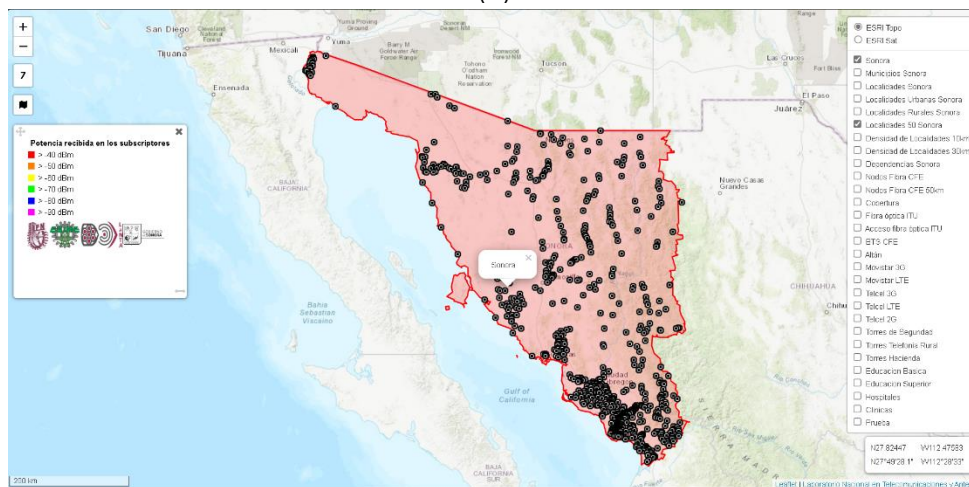
Figura 9. Municipios del Estado de Sonora



(a)



(b)



(c)

Figura 10. Localidades del Estado de Sonora a) vista completa, b) acercamiento y c) localidades con más de 50 personas (Fuente: INEGI)

• **Búsqueda de información respecto a edificios gubernamentales, sector salud y escuelas**

En este siguiente paso, dirigimos nuestra atención hacia la ubicación precisa de edificios clave de las dependencias gubernamentales, así como en hospitales y escuelas, las cuales representan prioridades para el diseño de la red troncal. Se investigó el número de edificios gubernamentales, hospitales y escuelas presentes en cada municipio, lo cual nos proporcionó una base sólida para la planeación estratégica de la red troncal.



Esta información recabada, para todo el Estado, la podemos apreciar a continuación en las figuras 11, 12 y 13.

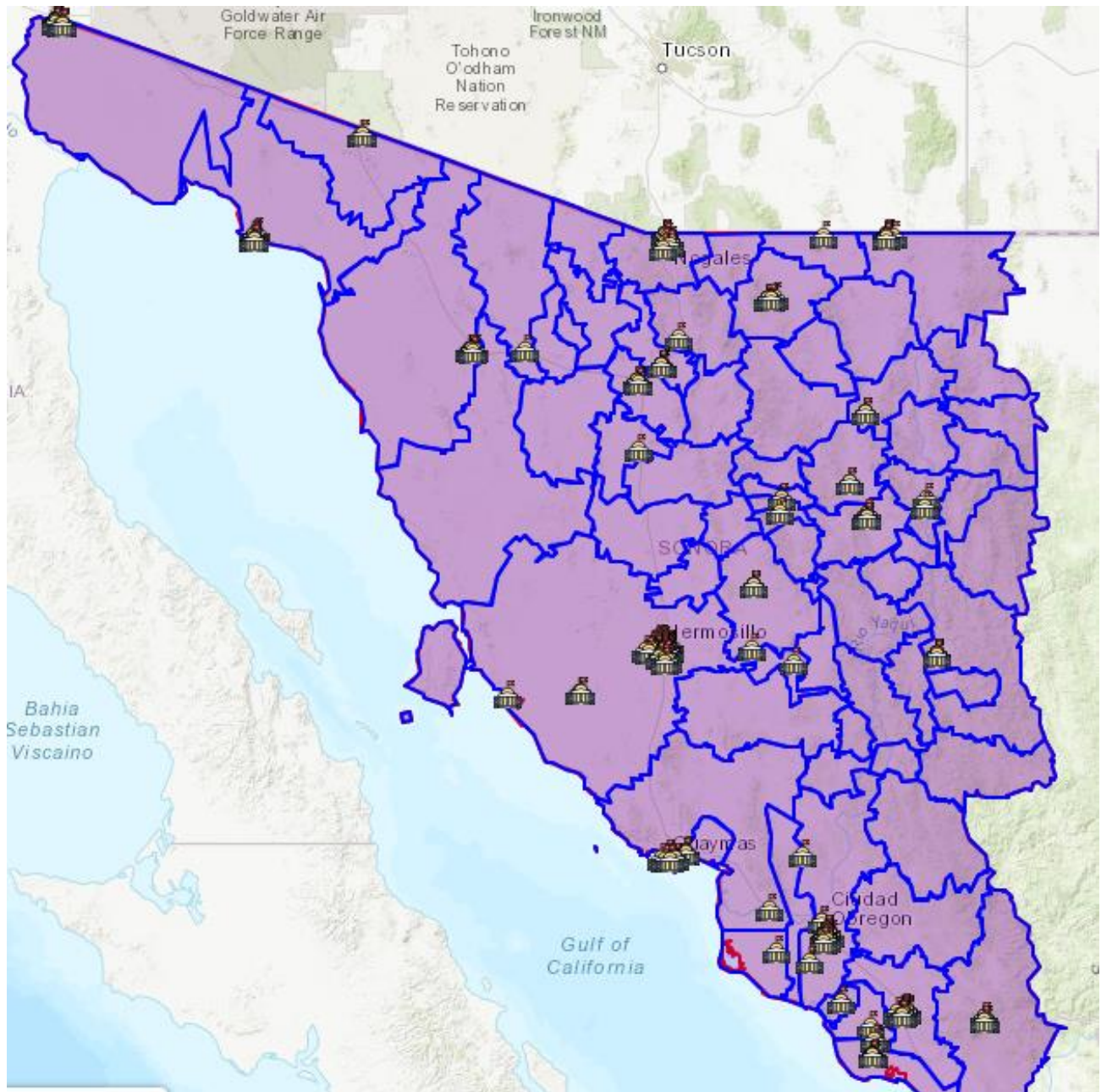


Figura 11. Dependencias de Gobierno



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA

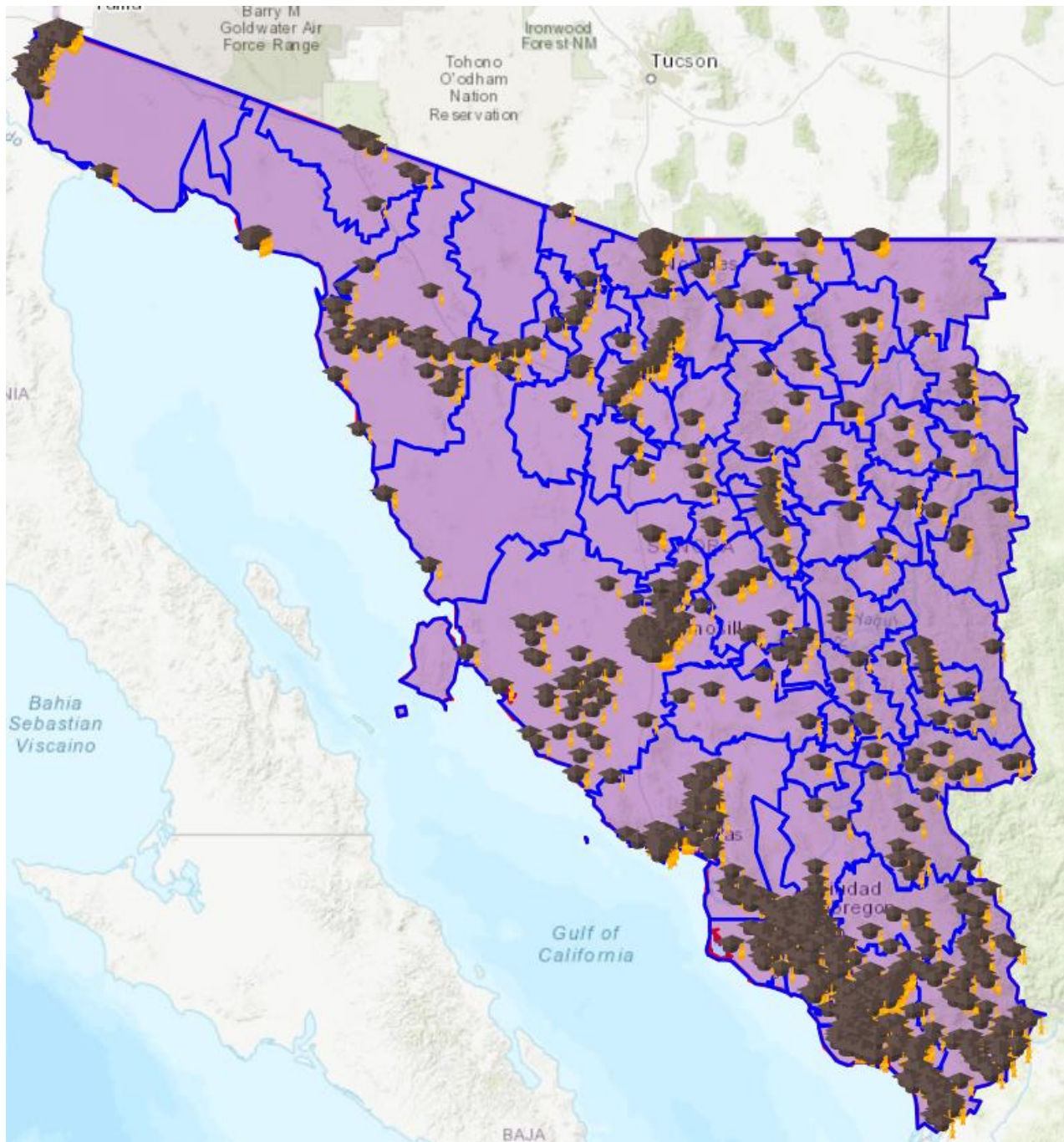


Figura 12. Escuelas: nivel básico, medio superior y superior



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA

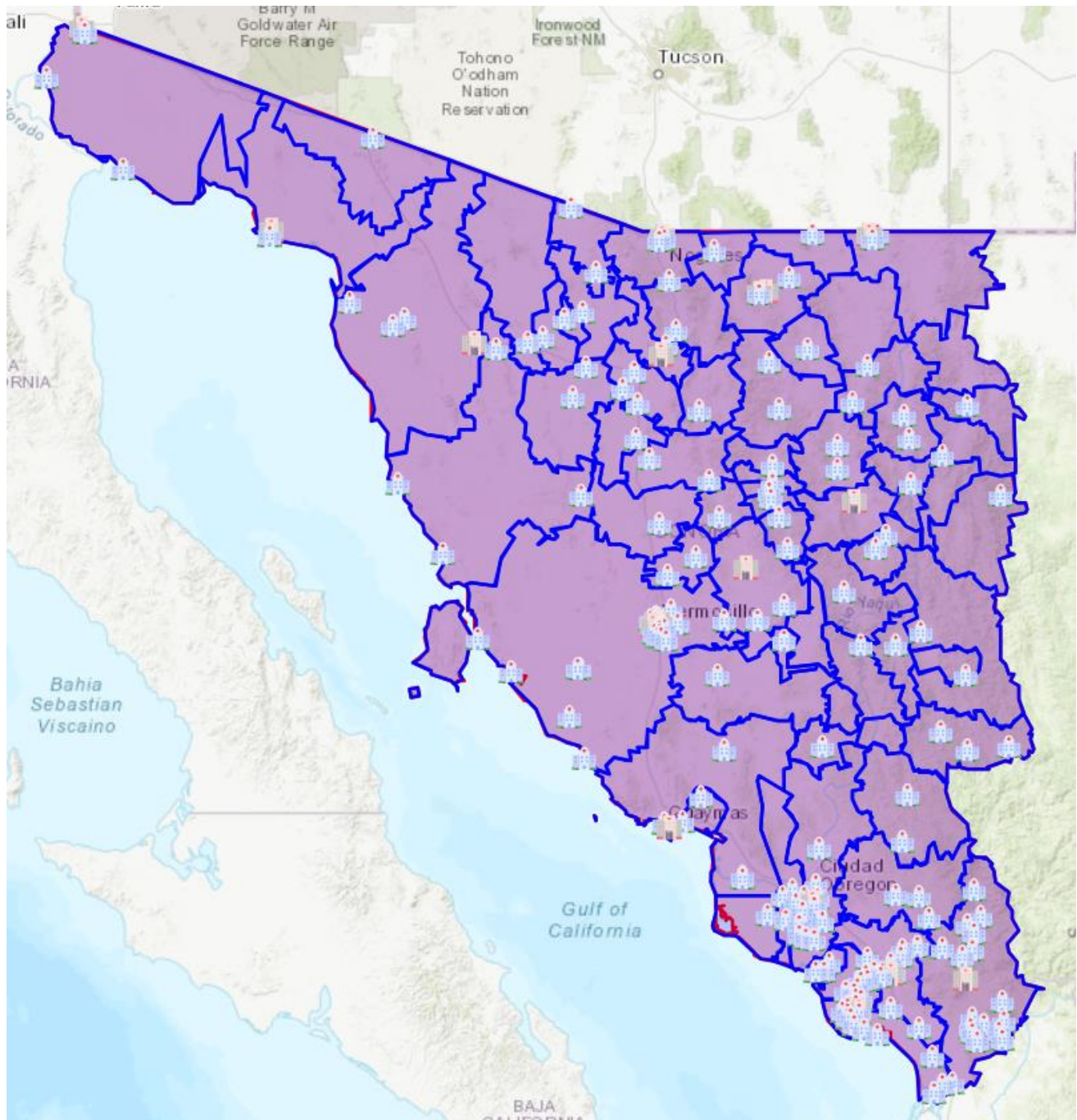


Figura 13. Clínicas y Hospitales



La búsqueda de información se realizó empleando datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) así como de información solicitada a las dependencias, especialmente a los sectores de educación y salud.

## 2.2 Definir las características de la red primaria que alimentará las comunicaciones del estado de Sonora.

- **Cálculo de velocidad**

Todo el análisis meticuloso realizado en los pasos anteriores nos sirvió para asignar planes de velocidad de datos a viviendas, edificios gubernamentales, escuelas y hospitales, siempre tratando de garantizar una distribución eficiente de los recursos de conectividad, con el propósito de mejorar significativamente la cobertura de datos.

Para ejemplificar el cálculo de velocidad, la tabla 5 muestra la información de 5 localidades de 393 que existen en el municipio San Luis Río Colorado, se aprecia que se cuenta con información de ubicación, número de habitantes, número de viviendas, porcentajes de viviendas con teléfono, con celular y con acceso a internet, las últimas tres columnas de la Tabla 5 nos permiten identificar necesidades de conexión que existen en el municipio y el número de viviendas es empleado en el cálculo de velocidad.

Tabla 5. Datos de localización, habitantes, viviendas y necesidades para el cálculo de velocidad (Fuente: INEGI)

Localidad	Longitud	Latitud	Número de Habitantes	Número de Viviendas	Viviendas con Teléfono (%)	Viviendas con Celular (%)	Viviendas con Internet (%)
San Luis Río Colorado	114°46'46.648" W	32°28'47.392" N	176685	64208	39.0%	98.0%	74.0%
Golfo de Santa Clara	114°30'03.307" W	31°41'23.815" N	4618	2174	14.0%	86.0%	27.0%
Islita	114°52'12.428" W	32°22'50.895" N	2332	766	24.0%	87.0%	34.0%



<b>Lagunitas</b>	114°53'43.755" W	32°19'09.806" N	1217	392	11.0%	91.0%	27.0%
<b>Ingeniero Luis B. Sánchez</b>	114°59'46.221" W	32°11'58.376" N	5970	1932	30.0%	97.0%	39.0%

Los datos del INEGI se usan para ubicar municipios y población y los proporcionados por las dependencias se usan para identificar edificios del sector salud (clínicas y hospitales) y escuelas, esto con el objeto de obtener el número de posibles usuarios que serán beneficiados con el diseño de la red. Se consideran para el cálculo el número de viviendas, hospitales y escuelas siendo estos últimos junto a los edificios de las dependencias prioridades dentro del diseño de la red, estos datos son mostrados para el municipio San Luis Río Colorado en la Tabla 6.

Tabla 6. Análisis de datos para el cálculo de velocidad del municipio de San Luis Río Colorado

<b>Rubro</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Localidades</b>	393
<b>Habitantes</b>	199021
<b>Viviendas</b>	72402
<b>Edificios sector salud</b>	6
<b>Escuelas</b>	152
<b>Edificios de dependencias</b>	16

El cálculo de velocidad se realiza considerando los datos de la Tabla 7, en ésta se muestra un ejemplo del cálculo realizado para los 72 municipios del estado de sonora, en este caso se continúa con los datos del municipio de San Luis Río Colorado, el cual cuenta con 393 localidades, 199021 habitantes, 72402 viviendas, 6 edificios del sector salud, 152 escuelas y 16 edificios de dependencias.

El plan de consumo asignado es de 10 Mbps para viviendas, 60 Mbps para escuelas y edificios de dependencias y 100 Mbps para edificios del sector salud,



este plan se selecciona en función de la cantidad de personas que se localizan en estos lugares y en función de una prioridad asignada.

Tabla 7. Herramienta para el cálculo de velocidad del municipio de San Luis Río Colorado

Usuarios	Cantidad	Consumo por usuario (Mbps)	Consumo total	% de Estrés	Tasa de Sobreventa	Consumo estimado 1:1
Viviendas	72402	10 Mbps	724020 Mbps	25%	1/50	18101 Mbps
Escuelas	152	60 Mbps	9120 Mbps	0%	1/15	608 Mbps
Edificios sector salud	6	100 Mbps	600 Mbps	0%	1/15	40 Mbps
Edificios de las dependencias	16	60 Mbps	960 Mbps	-	-	960 Mbps
	<b>72560</b>	-	<b>734700 Mbps</b>	-	-	<b>19709 Mbps</b>

Para el cálculo del consumo estimado se hace uso de la Tabla 8 "Consideraciones según consumo y la tasa de Sobreventa" donde se asigna un porcentaje de estrés y sobreventa (Sobreventa) en función la cantidad de usuarios y consumo asignado, por ejemplo, en viviendas la cantidad de usuarios es mayor a 20000, por lo que la sobreventa es 1/50, y el consumo asignado es de 10 Mbps por lo que el estrés es del 25%.

Tabla 8. Consideraciones según el consumo y la tasa de Sobreventa

Consumo asignado a usuarios (Mbps)	% de estrés	Usuarios	OverBooking
3Mbps	45%	200	1/15
5Mbps	30%	500	1/20
10Mbps	25%	1,000	1/25
15Mbps	20%	4,000	1/30
20Mbps	10%	10,000	1/40



30Mbps	5%	20,000	1/50
>30Mbps	0%		

Las fórmulas para el cálculo son:

$$\text{Consumo total (Mbps)} = \text{Clientes} \times \text{Plan} = 72402 \times 10 = 724020 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo estimado (Mbps)} &= \text{Capacidad} \times \text{OverBooking} \times (1 + \text{Estrés}) \quad (2) \\ &= 724020 \times (1/50) \times (1 + 0.25) = 18101 \end{aligned}$$

Como se ha mencionado, el análisis anterior es un ejemplo para un solo municipio, sin embargo, esto se hace para cada municipio del estado de Sonora. El resumen de resultados de consumo para cada municipio se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Consumo estimado por municipio

No.	Municipio	Velocidad requerida Escuelas (Mbps)	Velocidad requerida Sector salud (Mbps)	Velocidad requerida Viviendas (Mbps)	Dependencias (Mbps)	Velocidad TOTAL (Mbps)
1	Aconchi	24	7	557	60	648
2	Agua Prieta	260	27	8371	540	9198
3	Álamos	424	113	3145	360	4042
4	Altar	72	7	1518	60	1657
5	Arivechi	28	7	428	0	463
6	Arizpe	44	13	778	0	835
7	Atil	12	7	246	0	265
8	Bacadéhuachi	12	0	338	0	350
9	Bacanora	16	7	307	0	330
10	Bacerac	16	7	398	0	421
11	Bacoachi	16	7	421	0	444



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



<b>12</b>	Bácum	172	20	2441	60	2693
<b>13</b>	Banámichi	24	7	406	0	437
<b>14</b>	Baviácora	32	13	813	0	858
<b>15</b>	Bavispe	28	0	390	0	418
<b>16</b>	Benito Juárez	164	20	2957	120	3261
<b>17</b>	Benjamín Hill	36	20	1048	60	1164
<b>18</b>	Caborca	520	47	8393	900	9860
<b>19</b>	Cajeme	1336	127	40742	1860	44065
<b>20</b>	Cananea	156	20	4543	660	5379
<b>21</b>	Carbó	28	7	881	0	916
<b>22</b>	Cucurpe	12	7	333	0	352
<b>23</b>	Cumpas	68	13	1426	180	1687
<b>24</b>	Divisaderos	12	7	340	0	359
<b>25</b>	Empalme	284	13	5864	180	6341
<b>26</b>	Etchojoa	628	73	5795	180	6676
<b>27</b>	Fronteras	52	7	1755	0	1814
<b>28</b>	General Plutarco Elías Calles	104	7	2695	120	2926
<b>29</b>	Granados	12	0	331	60	403
<b>30</b>	Guaymas	728	40	15291	840	16899
<b>31</b>	Hermosillo	1785	227	81603	8520	92135
<b>32</b>	Huachinera	20	7	393	0	420
<b>33</b>	Huásabas	12	7	333	60	412
<b>34</b>	Huatabampo	800	100	6872	480	8252
<b>35</b>	Huépac	12	7	380	120	519



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



<b>36</b>	Imuris	96	7	2127	60	2290
<b>37</b>	La Colorada	44	7	599	60	710
<b>38</b>	Magdalena	164	13	3852	540	4569
<b>39</b>	Mazatán	12	7	414	60	493
<b>40</b>	Moctezuma	32	7	1184	540	1763
<b>41</b>	Naco	36	7	1248	60	1351
<b>42</b>	Nácori Chico	36	7	531	0	574
<b>43</b>	Nacozeni de García	44	7	2417	240	2708
<b>44</b>	Navojoa	992	93	14571	1380	17036
<b>45</b>	Nogales	684	53	22538	840	24115
<b>46</b>	Onavas	8	0	161	0	169
<b>47</b>	Opodepe	36	13	618	0	667
<b>48</b>	Oquitoa	8	7	180	0	195
<b>49</b>	Pitiquito	60	27	1811	0	1898
<b>50</b>	Puerto Peñasco	180	20	7426	420	8046
<b>51</b>	Quiriego	80	20	718	0	818
<b>52</b>	Rayón	16	7	573	0	596
<b>53</b>	Rosario	92	13	1132	0	1237
<b>54</b>	Sahuaripa	72	7	1376	360	1815
<b>55</b>	San Felipe de Jesús	12	7	242	0	261
<b>56</b>	San Ignacio Río Muerto	160	7	1923	60	2150
<b>57</b>	San Javier	12	0	191	0	203
<b>58</b>	San Luis Río Colorado	608	40	18101	960	19709



59	San Miguel de Horcasitas	60	13	1767	0	1840
60	San Pedro de la Cueva	28	7	634	0	669
61	Santa Ana	124	20	2659	360	3163
62	Santa Cruz	36	7	557	0	600
63	Sáric	36	13	539	0	588
64	Soyopa	40	7	548	0	595
65	Suaqui Grande	20	7	339	0	366
66	Tepache	12	7	486	0	505
67	Trincheras	20	13	438	0	471
68	Tubutama	44	7	462	0	513
69	Ures	88	20	1806	360	2274
70	Villa Hidalgo	20	13	541	0	574
71	Villa Pesqueira	20	0	415	0	435
72	Yécora	100	20	1329	0	1449
	<b>Total</b>	<b>12081</b>	<b>1528</b>	<b>298985</b>	<b>21720</b>	<b>334314</b>

Una vez realizado el cálculo de velocidad requerida por cada municipio, se emplean los datos de la UIT para ubicar la red de fibra óptica existente en el país y localizar los puntos de acceso que se encuentran en el estado, cabe señalar que las ubicaciones precisas de latitud y longitud se corroboraron a través de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la tabla 10 muestra las ubicaciones de cada nodo.

Tabla 10. Ubicación de los nodos de la red de Fibra Óptica de CFE

No.	Nombre	Latitud	Longitud
1	Hotel Hermosillo	29.079883	-111.024511
2	Hotel Nogales	31.311731	-110.959874
3	Hotel Santa Ana	30.52641	-111.132447
4	Hotel Magdalena (Luis Donald Colosio)	30.625161	-110.953009



<b>5</b>	Caseta Comunicaciones El Golfo	31.687756	-114.500831
<b>6</b>	Caseta Comunicaciones Guaymas Dos	27.93775	-110.863959
<b>7</b>	Caseta Comunicaciones Obregón Tres	27.524787	-109.925228
<b>8</b>	Caseta Comunicaciones Pueblo Nuevo	27.071239	-109.375379
<b>9</b>	Hotel Agua Prieta	31.309591	-109.559076
<b>10</b>	Hotel Caborca	30.725944	-112.157497
<b>11</b>	Caseta Comunicaciones Cananea	31.004078	-110.29848
<b>12</b>	S.E. Puerto Peñasco	31.310825	-113.521122
<b>13</b>	S.E. Empalme Ciclo Combinado	27.929226	-110.781058

La fibra óptica y los 13 nodos en el estado de Sonora son ubicados en un mapa interactivo desarrollado por el equipo del LaNTA-IPN para determinar que municipios se encuentran cercanos a estos, la figura 14 muestra la red de fibra óptica y la posición de los nodos de la red de fibra óptica.

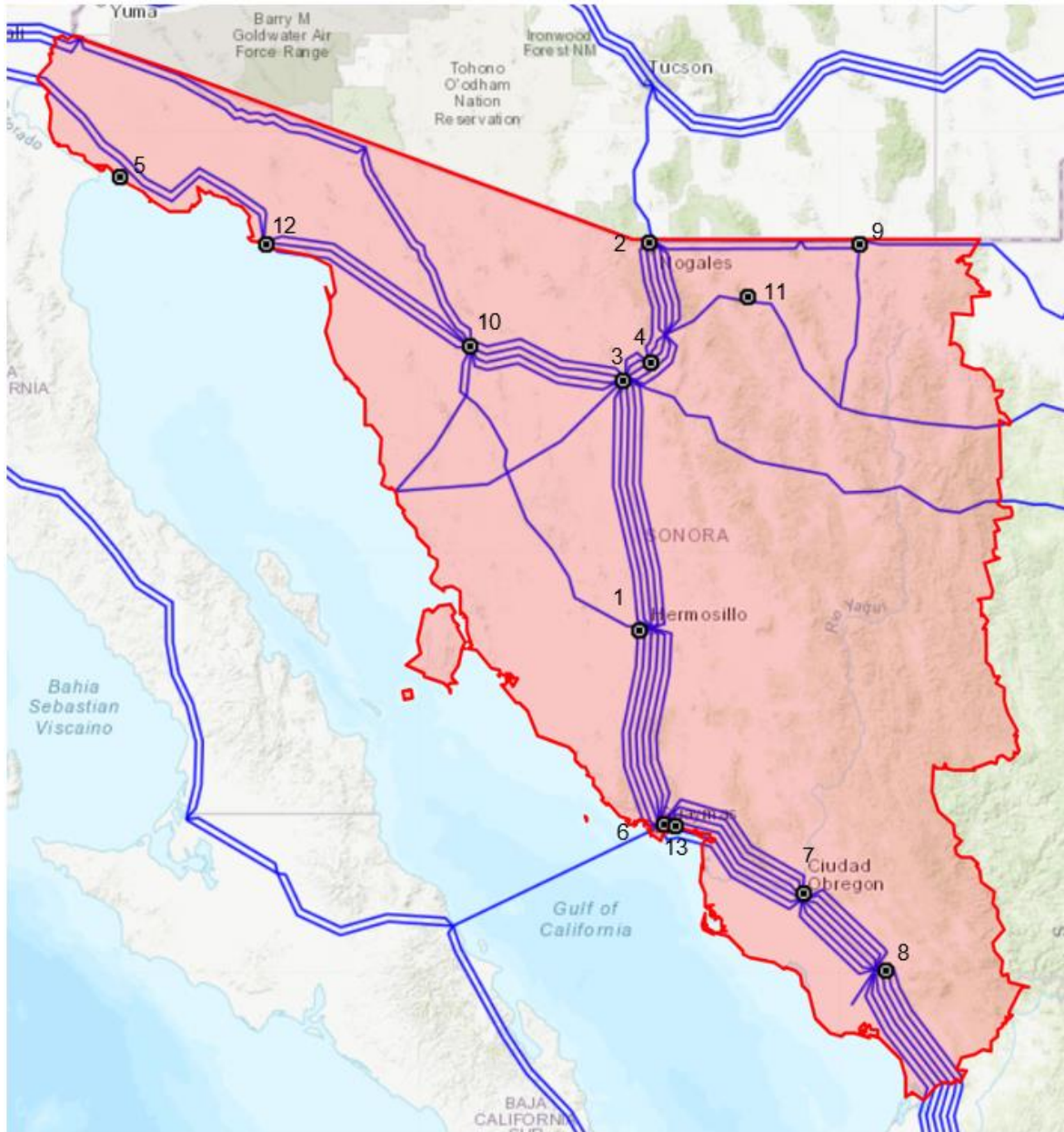


Figura 14. Red de fibra óptica y nodos de CFE en el estado de Sonora

Después de localizar los nodos en el mapa, cada uno de los 72 municipios es asignado a alguno de los 13 nodos de la red de fibra óptica, esto se realiza con el objetivo de llevar servicio a los usuarios definidos como prioridad (edificios de las



dependencias, escuelas, edificios de salud), además de tener la posibilidad de dar servicio a las viviendas en las localidades. La asignación de municipios a los nodos se realiza considerando la ubicación y cercanía de los municipios a estos, la tabla 11 muestra la asignación de municipios a los nodos de fibra óptica en el estado.

Tabla 11. Asignación de municipios a nodos de la red de fibra óptica de CFE

No. Nodo	Nombre del Nodo	No. Municipio	Municipio	Municipios asignados al nodo
1	Hotel Hermosillo	1	Baviácora	8
		2	Hermosillo	
		3	La Colorada	
		4	Mazatán	
		5	San Miguel de Horcasitas	
		6	San Pedro de la Cueva	
		7	Ures	
		8	Villa Pesqueira	
2	Hotel Nogales	9	Nogales	3
		10	Santa Cruz	
		11	Sáric	
3	Hotel Santa Ana	12	Atil	8
		13	Benjamín Hill	
		14	Carbó	
		15	Opodepe	
		16	Rayón	
		17	Santa Ana	



		18	Trincheras	
		19	Tubutama	
<b>4</b>	Hotel Magdalena	20	Aconchi	7
		21	Banámichi	
		22	Cucurpe	
		23	Huépac	
		24	Imuris	
		25	Magdalena	
		26	San Felipe de Jesús	
<b>5</b>	Caseta Comunicaciones El Golfo	27	San Luis Río Colorado	1
<b>6</b>	Caseta Comunicaciones Guaymas Dos / S. E. Empalme Ciclo Combinado	28	Bácum	4
		29	Empalme	
		30	Guaymas	
		31	San Ignacio Río Muerto	
<b>7</b>	Caseta Comunicaciones Obregón Tres	32	Arivechi	9
		33	Bacanora	
		34	Cajeme	
		35	Onavas	
		36	Sahuaripa	
		37	San Javier	
		38	Soyopa	
		39	Suaqui Grande	
		40	Yécora	



<b>8</b>	Caseta Comunicaciones Pueblo Nuevo	41	Álamos	7
		42	Benito Juárez	
		43	Etchojoa	
		44	Huatabampo	
		45	Navojoa	
		46	Quiriego	
		47	Rosario	
<b>9</b>	Hotel Agua Prieta	48	Agua Prieta	14
		49	Bacadéhuachi	
		50	Bacerac	
		51	Bavispe	
		52	Cumpas	
		53	Divisaderos	
		54	Granados	
		55	Huachinera	
		56	Huásabas	
		57	Moctezuma	
		58	Nácori Chico	
		59	Nacozari de García	
		60	Tepache	
		61	Villa Hidalgo	
<b>10</b>	Hotel Caborca	62	Altar	4
		63	Caborca	
		64	Oquitoa	



		65	Pitiquito	
<b>11</b>	Caseta Comunicaciones Cananea	66	Arizpe	5
		67	Bacoachi	
		68	Cananea	
		69	Fronteras	
		70	Naco	
<b>12</b>	S. E. Puerto Peñasco	71	General Plutarco Elías Calles	2
		72	Puerto Peñasco	

Como puede observarse en la tabla 11, se procuró asignar de forma equitativa el número de municipios a los nodos, sin embargo, la geografía del estado y la ubicación de los nodos no permitieron hacerlo de forma exacta, teniendo:

- 5 nodos con entre 7 y 9 municipios, estos nodos son el 1, Hotel Hermosillo, el 3, Hotel Santa Ana, el 4, Hotel Magdalena, el 7, Caseta Comunicaciones Obregón Tres y el 8 Caseta Comunicaciones Pueblo Nuevo.
- 4 nodos con entre 3 y 5 municipios, siendo estos el 2, Hotel Nogales, el 6, Caseta Comunicaciones Guaymas Dos / S. E. Empalme Ciclo Combinado, el 10, Hotel Caborca y el 11, Caseta Comunicaciones Cananea.
- El nodo 5, Caseta Comunicaciones El Golfo con 1 municipio asignado.
- El nodo 12, S. E. Puerto Peñasco con 2 municipios asignados.
- El nodo 9, Hotel Agua Prieta con 14 municipios asignados

Cabe señalar que debido a la cercanía que existe entre los nodos 6 y 13 estos se consideraron como una misma ubicación asignándoles 4 municipios (ver tabla 11). Por otra parte, 14 municipios fueron asignados al nodo 9 debido a que existen varios municipios pequeños hacia el sur de este (prácticamente en la sierra), los nodos 5 y 12 tienen 1 y 2 municipios asignados respectivamente debido a que se encuentran en la parte más estrecha del estado (en la frontera con Estados Unidos al norte y con Baja California hacia el oeste). La figura 15 muestra los municipios del estado así como los nodos de la red de fibra y círculos de 50 km alrededor de cada nodo dentro de los cuales se podría llevar el servicio a través



de fibra óptica, como puede apreciarse, el mapa interactivo permite seleccionar una ubicación dando información del punto seleccionado dependiendo de la capa que se encuentre activa, por ejemplo, al estar encendida la capa llamada "Municipios de Sonora" al dar clic, se despliega el nombre de los municipios permitiendo saber que municipios son los cercanos al nodo.

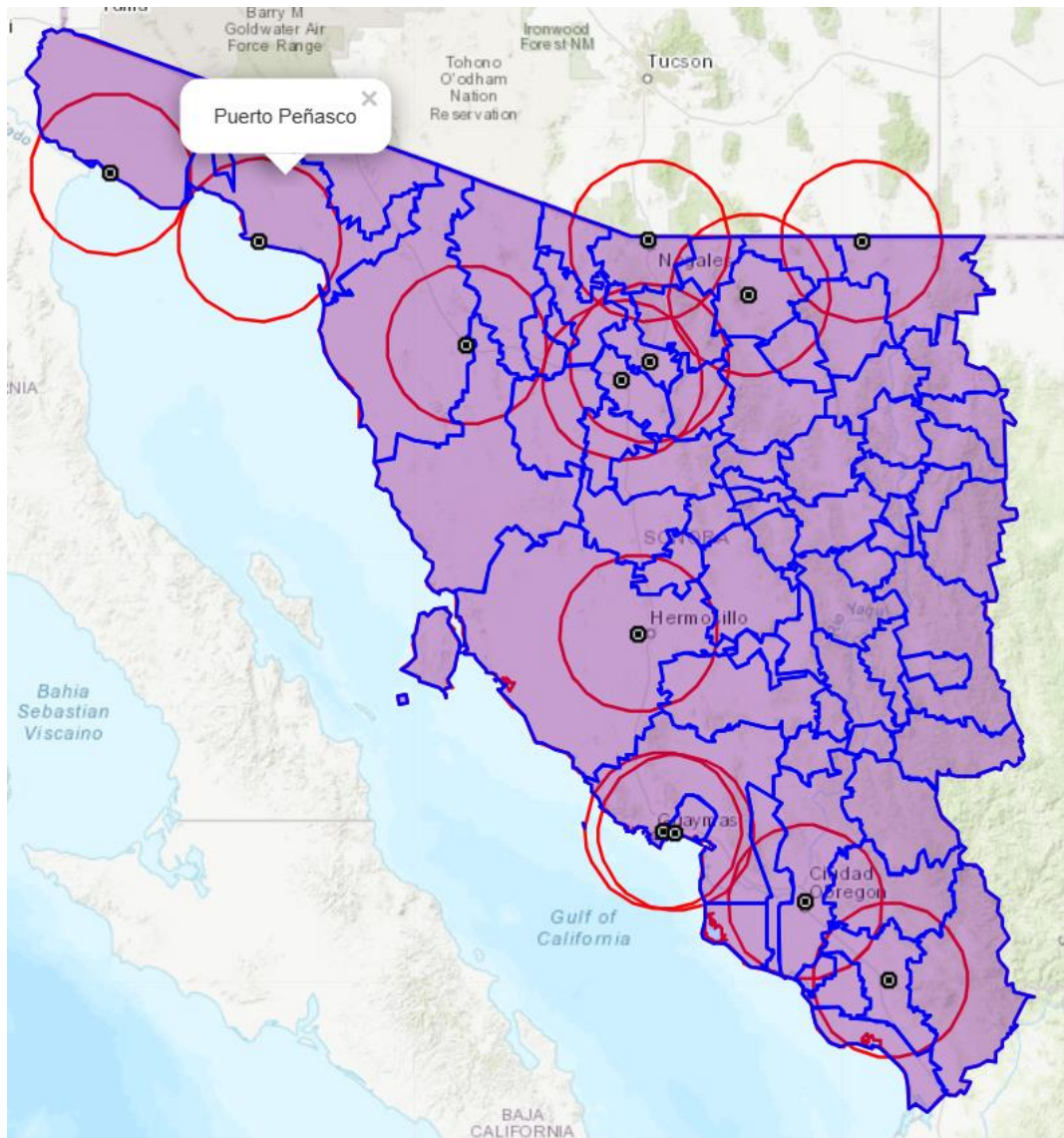


Figura 15. Municipios y nodos de acceso de la red de Fibra de CFE



- **Metodología para la creación de capas del mapa interactivo**

Una parte fundamental para realizar el diseño de la red troncal es el empleo de mapas donde se ubica la información recabada de las encuestas, de la investigación en el INEGI, de la solicitada a las dependencias, y la búsqueda en bases de datos de la Unión Internacional de Comunicaciones (UIT), de CFE, entre otras. En este proyecto, se propone el uso de mapas interactivos para poder observar de forma más clara la situación del estado en materia de conectividad.

La metodología para la creación de capas del mapa es la siguiente:

1. Recolectar datos geográficos: Consiste en la recolección de datos geográficos (coordenadas y datos asociados a la ubicación), limpieza de los datos geográficos y generar archivos en formato .CSV con los datos geográficos.
2. Generar KMZ Google Earth: Que consiste en importar el archivo .CSV a Google Earth, especificar rubros de latitud y longitud del archivo, especificar tipo de datos para los rubros adicionales y generar archivo KMZ de Google Earth.
3. Generar archivo GeoJSON: Importar archivo .CSV a QGIS, especificar formato de los rubros de latitud y longitud, especificar tipo de datos para los rubros adicionales, definición de la geometría SRC EPSG:4328 - WGS 84 (geocentric), añadir capa de QGIS, y exportar capa desde QGIS en formato GeoJSON.
4. Añadir capas al mapa web: Esta última etapa consiste en convertir archivo GeoJSON a JavaScript, añadir archivo JS al archivo index.html, añadir capa desde archivo JS, configurar propiedades de la capa para visualizar en el mapa, añadir overlays al mapa y añadir funciones interactivas al mapa.



Tabla 12. Capas del mapa interactivo

No.	Nombre de la capa	No.	Nombre de la capa
1	Estado	17	Hospitales
2	Municipios	18	Clínicas
3	Localidades	19	Fibra óptica CFE
4	Localidades urbanas	20	Cobertura
5	Localidades rurales	21	Torres
6	Localidades con más de 50 personas	22	Enlaces PtP
7	Localidades con más de 250 personas	23	Sitios
8	Densidad de localidades en hexágono de 10 km	24	Tendido de fibra óptica ITU
9	Densidad de localidades en hexágono de 30 km	25	Nodos de acceso fibra óptica ITU
10	Dependencias Sonora	26	BTS CFE
11	Torres Secretaría de Seguridad Pública	27	Cobertura Altán
12	Torres Telefonía Rural	28	Cobertura Movistar 3G
13	Torres Secretaría de Hacienda	29	Cobertura Movistar LTE
14	Torres RSyTM	30	Cobertura Telcel 3G
15	Educación Básica	31	Cobertura Telcel LTE
16	Educación Media Superior y Superior	32	Cobertura Telcel 2G

Cada una de las capas del mapa interactivo muestra los datos relacionados a los puntos de interés de esa capa, en la Figura 16 se eligió la capa de las torres de la Secretaría de Seguridad Pública, al elegir como punto de interés la torre ubicada en la localidad de Santa Ana se despliegan los datos relacionados a ese punto como ubicación, tipo de torre, acceso a la torre, etc.

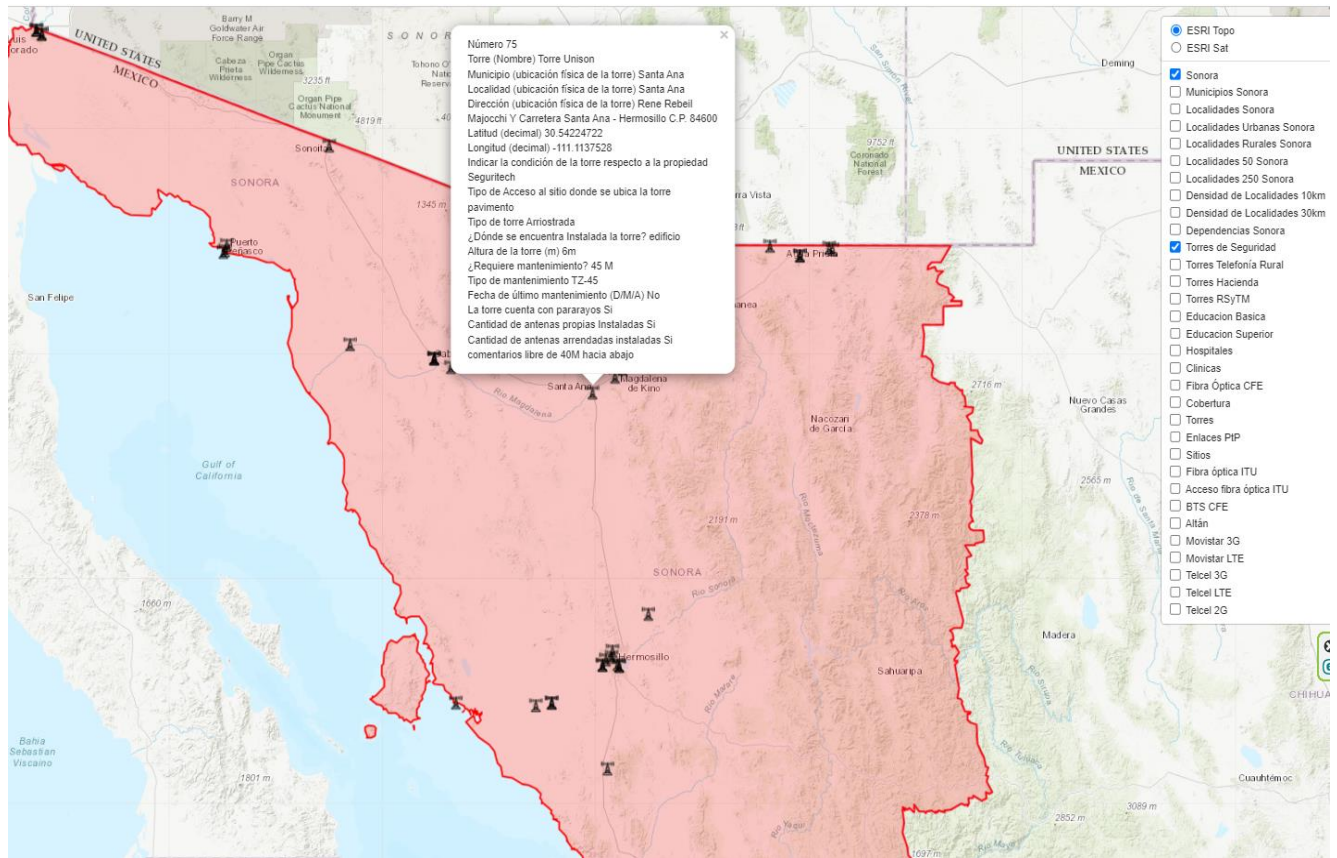


Figura 16. Datos asociados a un punto de interés (torre)

En las figuras 17 a 21, se muestran algunos ejemplos de las capas de mayor interés como lo son las densidades de las localidades en hexágonos de 30km y 10 km, las torres de las dependencias y de los municipios, la localización de las dependencias y el mapa de población. (algunas ya mostradas previamente en el análisis de velocidad y prioridades):

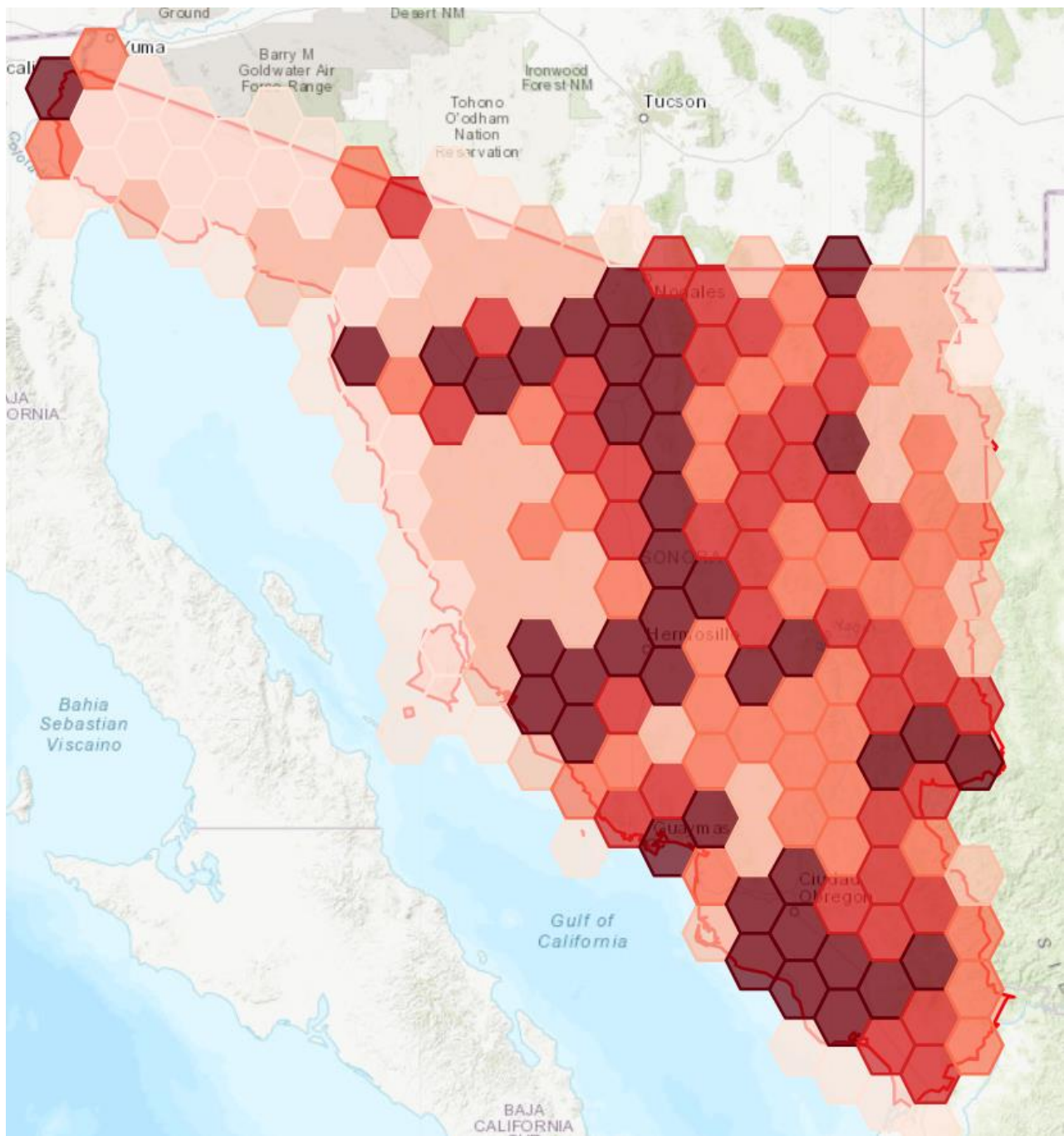


Figura 17. Densidad de localidades en hexágonos de 30 km (Fuente: INEGI)

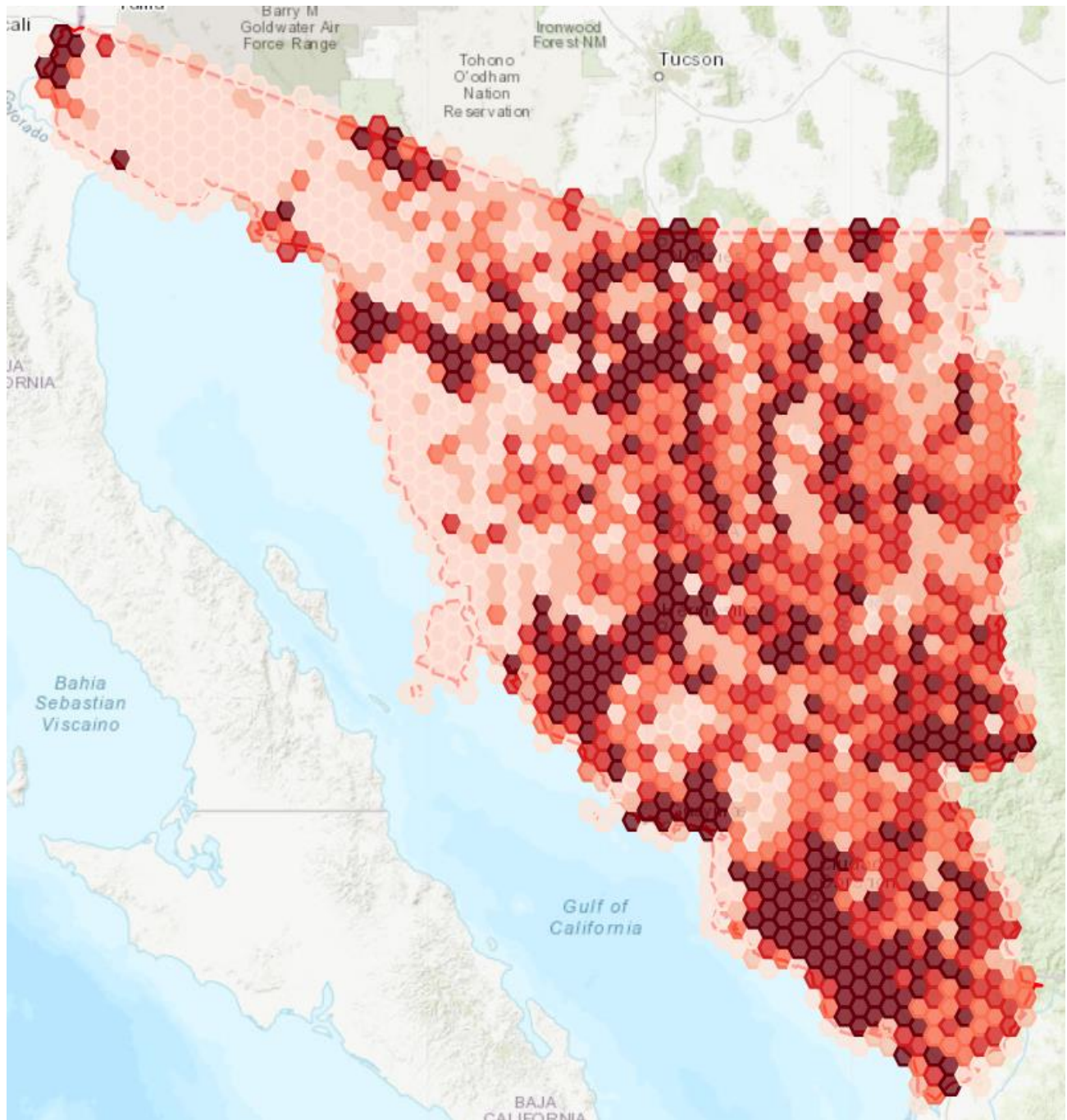


Figura 18. Densidad de localidades en hexágonos de 10 km (Fuente: INEGI)



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA

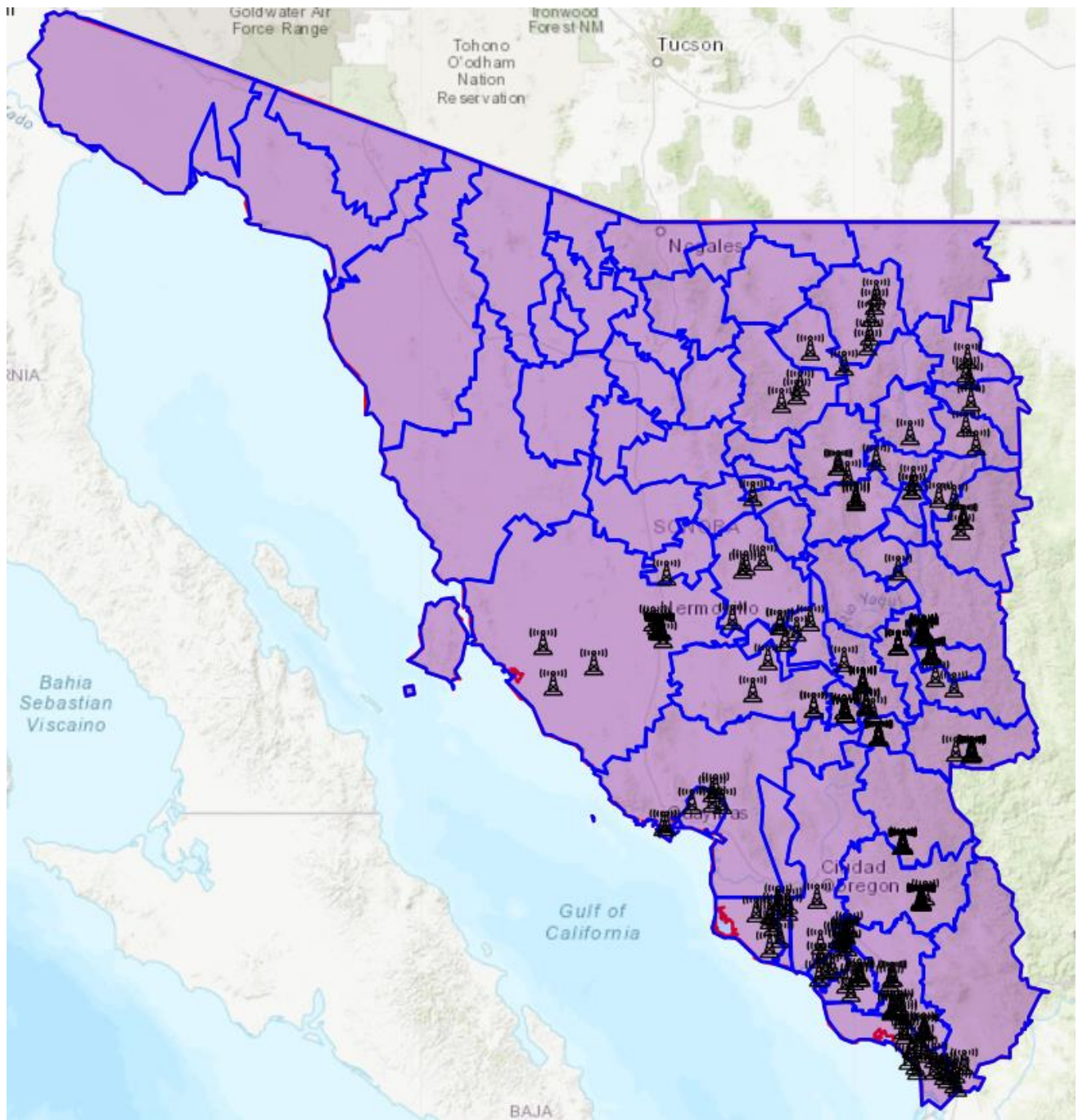


Figura 19. Torres de las dependencias y Municipios



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



Figura 20. Dependencias del estado

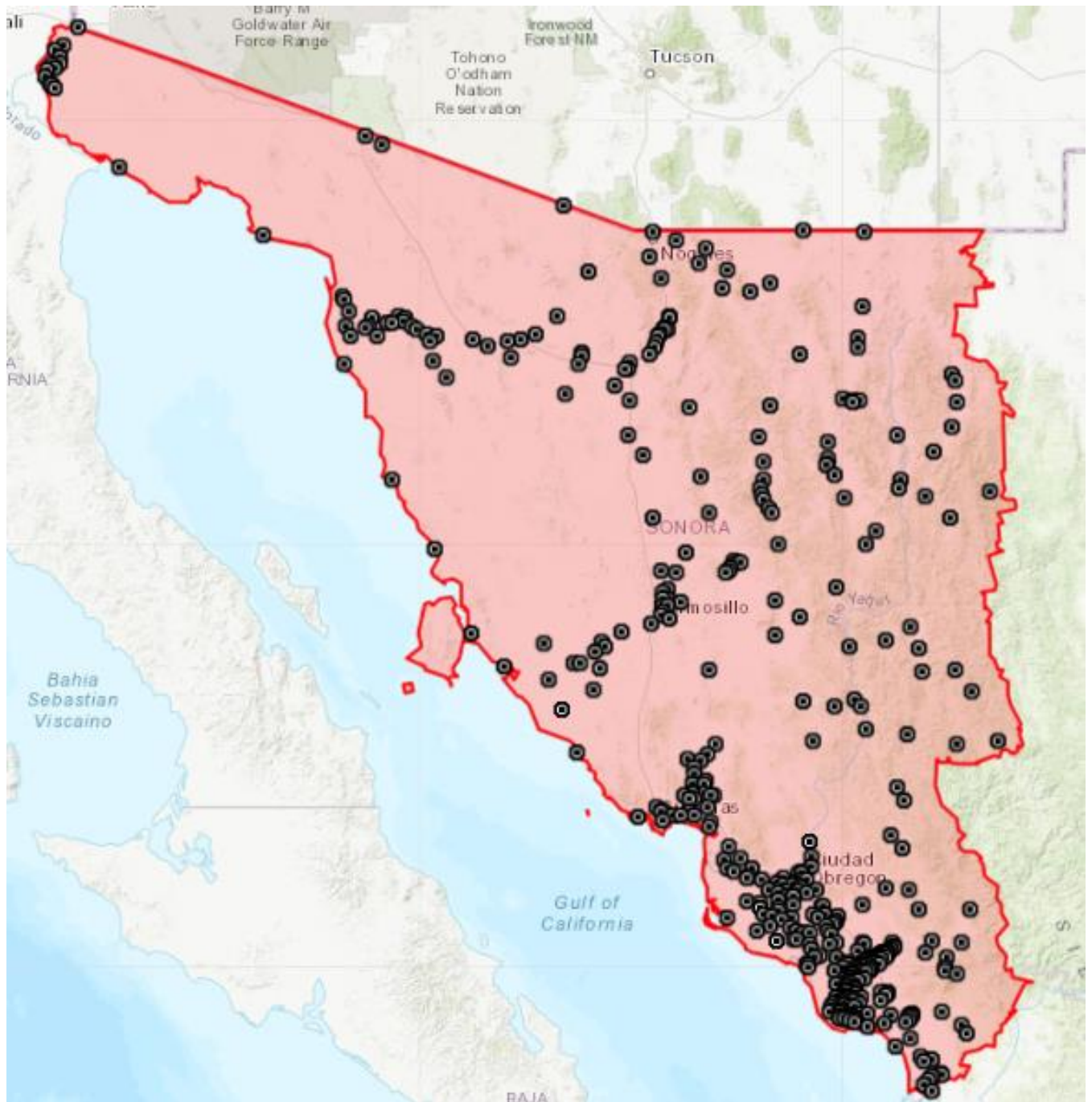


Figura 21. Localidades con más de 250 personas



## 2.2.1 Parámetros de conectividad

Las redes troncales requieren tecnologías avanzadas que satisfagan criterios específicos para garantizar un rendimiento óptimo. La adopción de tecnologías como la fibra óptica, con su capacidad para transmitir datos a velocidades extremadamente altas y con mínima pérdida de señal, se posiciona como una opción crucial. Los enlaces de microondas también desempeñan un papel vital, ofreciendo soluciones inalámbricas de alta velocidad, ideales para áreas geográficas donde el despliegue de cables es impracticable.

La concepción y el despliegue de una red de comunicaciones constituyen un componente esencial en la edificación de un entorno interconectado, donde la eficiencia y confiabilidad en la transmisión de datos a larga distancia son imperativos. En este apartado, se presenta la propuesta detallada sobre los parámetros clave de conectividad para el diseño de la red troncal del estado.

- **Parámetros Clave de Conectividad:**

La optimización del rendimiento de la red troncal implica una atención meticulosa a parámetros específicos como los enlistados a continuación:

- a) Disponibilidad: Porcentaje o periodo de tiempo en el que la red (un dispositivo o una aplicación) permite la correcta conexión al usuario y representa un parámetro o indicador clave del desempeño de la red.
- b) Tasa de Transferencia: la capacidad de transferir datos de manera eficiente, medida en términos de velocidad, es esencial para satisfacer las demandas de tráfico en constante aumento.
- c) Pérdida de Paquetes: la gestión eficaz de la pérdida de paquetes garantiza una transmisión de datos fluida y confiable.
- d) Ancho de Banda: la asignación adecuada de ancho de banda es esencial para satisfacer las necesidades de diferentes servicios y aplicaciones.
- e) Latencia: la minimización del tiempo de respuesta es crucial para aplicaciones y tareas en tiempo real.
- f) Tasa de Error de Bit (BER): la reducción de errores en la transmisión es vital para mantener la integridad de los datos, especialmente en distancias largas.



En síntesis, esta sección proporciona una visión detallada de las características clave de la red primaria de comunicaciones. Al centrarse en la eficiencia de la transmisión de datos y la adaptabilidad a la evolución tecnológica, se sientan las bases para la creación de una red troncal robusta y eficiente, capaz de hacer frente a los retos actuales y futuros en el ámbito de las telecomunicaciones.

### Disponibilidad, tasa de transferencia y pérdida de paquetes

La disponibilidad y la no disponibilidad de la red se definen a continuación:

- Disponibilidad: Tiempo total de evaluación menos la suma de todos los tiempos indisponibles dentro del tiempo de evaluación.
- Indisponibilidad: Periodo de tiempo en el que no se cuenta con los parámetros mínimos para brindar servicio al usuario.

La disponibilidad puede determinarse mediante:

$$\text{Disponibilidad} = t_T - \sum_0^{t_T} \Delta t_i \quad (3)$$

En donde  $t_T$  representa el tiempo total de evaluación, y  $\Delta t_i$  es el tiempo de indisponibilidad.

La recomendación UIT-T Y.1540 Servicio de comunicación de datos con protocolo Internet - Parámetros de calidad de funcionamiento relativos a la disponibilidad y la transferencia de paquetes del protocolo Internet, clasifica al tiempo disponible en tres regiones descritas en la tabla 13.

Tabla 13. Regiones de tiempo disponible (UIT-T Y.1540)

No	Región	características
1	Conforme a la clase n	El usuario del servicio puede conocer el valor del retardo de transferencia de paquetes del protocolo Internet (IPTD), la variación de retardo del paquete del protocolo Internet (IPDV), la tasa de pérdida de paquetes del protocolo Internet (IPLR) y la Tasa de errores en los paquetes del protocolo Internet (IPER) que son necesarias para cuantificar la calidad del servicio (QoS). Conociendo esto el usuario podrá comunicarse con el destino deseado y la calidad de funcionamiento de la transferencia de paquetes es conforme a los objetivos de la clase acordada, para ello se contempla una evaluación en intervalos de 1 minuto.
2	No conforme	Aunque el usuario del servicio puede comunicarse con el destino deseado, la calidad de funcionamiento de transferencia de paquetes no cumple uno o varios de los objetivos de la clase acordada. La evaluación de este estado suele efectuarse en intervalos de 1 minuto.
3	Bloques de paquetes IP con	El usuario puede comunicarse con el destino deseado, pero la calidad de funcionamiento de transferencia de paquetes no cumple con los objetivos de la clase a la que pertenece. La tasa de pérdida es suficiente para determinar



	muchas pérdidas (IPSLB)	que ha ocurrido un IPSLB en el servicio de IP presentando una pérdida mayor de 20% en un intervalo de 10 segundos.
--	-------------------------	--

De acuerdo con la recomendación UIT-T Y.1540, el tiempo indisponible se compone de cuatro zonas relacionadas con el % de pérdidas de paquetes, estas zonas son descritas en la tabla 14.

Tabla 14. Regiones de tiempo disponible y pérdidas de paquetes (UIT-T Y.1540)

No	Zona	Característica	Repercusión	% de Pérdida de paquetes	Recomendación
1	No accesible	Es debida a un fallo en los elementos de transporte de la red de acceso	El usuario no puede comunicarse con la red IP (lleva más de 1 minuto corregir el fallo)	100	Es conveniente que los sistemas de gestión de fallos avisen de forma inmediata a los encargados de mantenimiento.
2	Discontinuo	Debida a un fallo en la información de encaminamiento global de red IP, provoca que el usuario no pueda comunicarse con el destino deseado.	Si bien es posible comunicarse con algunos destinos, no lo es con el deseado. A menudo, es necesario más de 1 minuto para corregir el fallo	100	
3	No accesible, discontinuo	-	El usuario no puede comunicarse mientras coexistan las dos condiciones anteriores.	100	
4	Calidad de funcionamiento deficiente	El usuario califica el servicio como indisponible para comunicarse con casi cualquier tipo de aplicación de red IP	El usuario no cuenta con comunicación fiable con el destino deseado	≥20%	Este nivel de pérdida de paquete se debe principalmente a la congestión, convendrá activar el control de flujo extremo a extremo [suministrado en el protocolo de control de transmisión (TCP)] para disminuirla.

La función de disponibilidad de un servicio IP se basa en un umbral de la tasa de pérdida de paquetes del protocolo de Internet (IPLR). El servicio IP está



disponible de extremo a extremo si la IPLR es inferior al umbral  $c_1 = 0.2$  (este valor se considera provisional y en estudio de acuerdo con UIT-T Y.1540)

A continuación, se presenta la expresión 4 que relaciona el porcentaje de disponibilidad del servicio IP (PIA) con el porcentaje de indisponibilidad de servicio IP (PIU).

$$PIU = 100 - PIA \quad (4)$$

La disponibilidad puede determinarse mediante la tasa de transferencia de paquetes.  $M_{av}$  es el número mínimo de paquetes que se utiliza para evaluar la disponibilidad del servicio IP y  $T_{av}$ , es la duración mínima del intervalo de tiempo en el que se evalúa la función de disponibilidad del servicio, por lo que se deben utilizar al menos  $M_{av}$  paquetes durante el intervalo de tiempo  $T_{av}$ , para evaluar el estado de disponibilidad, además de que se necesita que las pruebas sean realizadas varias veces para determinar el PIA y el PIU. En UIT-T Y.1540 se sugiere emplear  $M_{av} = 60$  paquetes distribuidos dentro de  $T_{av}$  a un paquete/s con  $T_{av} = 1$  min.

Un ejemplo del modo de empleo de la expresión 4 es el siguiente:

Un servicio con una confiabilidad de 99.999%, hace referencia a que el sistema está inactivo poco más de 5 minutos al año como se muestra en el ejemplo, es decir, que  $PIA = 0.001\%$  y por lo tanto  $PIU = 99.999\%$ , numéricamente esto es:

$$\begin{aligned} 1 \text{ año} &= 525600 \text{ min} \\ \text{Indisponibilidad} &= 525600 \times 0.00001 = 5.256 \text{ min} \end{aligned}$$

Para determinar el porcentaje el PIA se debe contemplar la normativa internacional tomando como referencia los criterios de las recomendaciones UIT-T Y.1540 y UIT-T Y.1541, con lo que se contempla un umbral de  $c_1 = 0.20$ , bajo estas condiciones la máxima indisponibilidad de los servicios de IP debería ser 105,120 minutos en un año, esto es:

$$\text{Indisponibilidad} = 525600 \times 0.2 = 105120 \text{ min}$$

Lo que representa un caso extremo, como podrá apreciarse más adelante en los resultados del modelado de los enlaces de microondas de la sección 2.3.2, en todos los casos se tienen porcentajes de disponibilidad entre el 93.97 y 100 %, con



un promedio de 99.62 %. Lo que implica indisponibilidad máxima y promedio anual de:

$$\text{Indisponibilidad}_{\text{max}} = 525600 \times 0.0603 = 31693.68 \text{ min} = 22 \text{ días}$$

$$\text{Indisponibilidad}_{\text{avg}} = 525600 \times 0.0038 = 1997.28 \text{ min} = 1.39 \text{ días}$$

Otro parámetro de calidad que debe considerarse es la transferencia de paquetes IP. De acuerdo con la recomendación UIT-T Y.1540, los parámetros de calidad de funcionamiento de la transferencia de paquetes IP son los mostrados en la tabla 15.

Tabla 15: Parámetros de transferencia de paquetes (UIT-T Y.1540)

Parámetro	Descripción
Poblaciones de interés	La mayoría de los parámetros de calidad de funcionamiento se definen en conjuntos de paquetes llamados poblaciones de interés. Para el caso extremo a extremo, la población de interés es normalmente el conjunto total de paquetes que se envía de una computadora principal de origen (SRC) a una computadora principal de destino (DST). Los puntos de medición en el caso extremo a extremo son el punto de medición (MP) del SRC y el DST.
Flujo de paquetes	Es el tráfico asociado con un tren de bits con conexión o sin conexión determinado, que tiene el mismo SRC, el mismo DST, clase de servicio e identificación de sesión.
Retardo de transferencia de paquetes IP	Se define para todos los resultados de paquetes satisfactorios y con errores a través de una sección básica o un conjunto de secciones de red (NSE)  El retardo de transferencia de paquetes del protocolo Internet (IPTD) es el tiempo $(t_2 - t_1)$ que transcurre entre el suceso de dos eventos de referencia de paquetes IP correspondientes, evento de ingreso del evento de referencia de transferencia de paquetes del protocolo Internet 1 (IPRE1) en el momento $t_1$ y evento de egreso IPRE2 en el momento $t_2$ , siendo $(t_2 > t_1)$ y $(t_2 - t_1) \leq T_{\text{máx}}$  El retardo de la transferencia de paquetes IP de extremo a extremo es un retardo unidireccional entre el MP del SRC y el DST.
Tasa de errores en los paquetes IP (IPER)	Es la relación entre el total de resultados de paquetes IP con errores y el total de resultados de transferencia satisfactoria de paquetes IP más los resultados de paquetes IP con errores en una población de interés.
Tasa de pérdida de paquetes IP (IPLR)	Es la relación entre el total de resultados de paquetes IP perdidos y el total de paquetes IP transmitidos en una población de interés.



## Ancho de Banda

Otro parámetro importante es el ancho de banda, donde el Instituto Federal de Telecomunicaciones establece los parámetros de banda ancha en el "Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones establece los parámetros de banda ancha", en dicho acuerdo se consideran dos casos, la básica y avanzada para medios alámbricos como inalámbricos. Los valores mínimos para los parámetros de banda ancha inalámbricos se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Parámetros de banda ancha (DOF, 2021)

Tipo	Parámetros de banda ancha	Velocidad de carga	Velocidad de descarga
Inalámbrica	Básica	1 Mbps	4 Mbps
	Avanzada	3 Mbps	10 Mbps

## Latencia y Tasa de error de Bit (BER)

La latencia, de acuerdo con las recomendaciones UIT-T E.812 y UIT-T G.1028.1 representa una degradación relacionada con el funcionamiento de la red, esta se define como el tiempo que transcurre desde el instante en que se transmite el último bit de una trama a través del punto de referencia asignado de la pila del protocolo del transmisor hasta el instante en el que toda la trama llega al punto de referencia asignado de la pila del protocolo del receptor. En este rubro, se recomienda que el valor de latencia del equipo se encuentre por debajo de los  $100 \mu s$ .

Valores superiores pueden deberse a diversos factores tales como (UIT-T G.1028.1):

- Carga de red
- Tratamiento de los medios (construcción de paquete, gestión de la memoria intermedia de fluctuación de fase)
- Canal de acceso aleatorio (RACH) al recibir instrucción de traspaso
- Procedimiento RACH/contienda
- Intentos RACH adicionales
- Planificación dinámica, adaptación de enlace



- Error de enlace radioeléctrico

Por otra parte la UIT-T G.821 indica que un periodo de tiempo de indisponibilidad comienza cuando la tasa de errores en los bits (BER, bit error ratio) en cada segundo es mayor que  $1 \cdot 10^{-3}$  durante diez segundos consecutivos. Se considera que estos diez segundos son tiempo de indisponibilidad. Un nuevo periodo de tiempo de disponibilidad comienza con el primer segundo de un periodo de diez segundos consecutivos cada uno de los cuales tiene una BER menor que  $10^{-3}$ . Para evitar periodos de indisponibilidad en un enlace de microondas se debe verificar que la BER sea de  $10E^{-11}$  o menor.

### Características de enlaces Punto a Punto (PtP)

Tabla 17. Características de los enlaces PtP diseñados

No.	Característica	Descripción
1	Antena	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ganancia de la antena: 30dBi.</li> <li>• Tipo de antena: Reflector parabólico VHLIP.</li> <li>• Ancho de haz vertical: 4.7°.</li> <li>• Polarización: lineal dual.</li> </ul>
2	Especificaciones ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IDU: -25°C to +65°C.</li> <li>• RFU: -45°C to +60°C.</li> <li>• La unidad debe estar certificada con IP56/P66/IP67.</li> </ul>
3	Especificaciones eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrada estándar IDU: -48 VDC.</li> <li>• Rango de entrada DC IDU: -40 a -60 VDC, con un máximo de corriente arriba de 15A (1RU chasis) o 30A (2RU chasis).</li> <li>• Soporte de potencia de alimentación dual.</li> <li>• Sistema de puesta a tierra.</li> </ul>
4	Ethernet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaces               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Interfaces de tráfico (1RU/2RU) – arriba de 6/10 x 10/100/1000Base-T (RJ-45) o 1000base-X (SFP).</li> <li>◦ Interfaz de tráfico opcional 10GE (SFP+).</li> <li>◦ Administrador de Interfaces - 2 x 10/100 Base-T (RJ-45).</li> <li>◦ Tipos de SFP - Optical 1000Base-LX (1310 nm) o SX (850 nm).</li> </ul> </li> <li>• Características Ethernet               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ MTU – 9600 Bytes.</li> </ul> </li> <li>• Calidad de Servicio               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Criterios múltiples de clasificación (VLAN ID, P-bits, IPv4 DSCP, IPv6 TC, MPLS EXP).</li> <li>◦ Deep buffering (configurable up to 64 Mbit per queue).</li> <li>◦ Red inalámbrica (WRED).</li> <li>◦ P-bit marking/remarking.</li> </ul> </li> <li>• 4K VLANs.</li> <li>• VLAN add/remove/translate.</li> <li>• MSTP, ERP (ITU-T G.8032).</li> </ul>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>Latencia controlada y PDV para aplicaciones sensibles de retardo.</li> <li>Aumento de capacidad por eliminación de ineficiencia en todas las capas (L2, MPLS, L3, L4, Tunneling – GTP for LTE, GRE).</li> <li>Y.1731 Ethernet OAM. LM (medición de pérdida de trama). DM (medición del retardo). VM (medición de variación de retardo).</li> </ul>
5	Herramientas	<p>El software de radio debe tener integrada las siguientes funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Interfaz gráfica integrada para detección de fallas.</li> <li>Analizador de espectro integrado.</li> <li>Herramientas para la alineación de antenas.</li> </ul>
6	Métodos de cálculo mediante software	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modelo de propagación de difracción: ITU-R P.526-15, ITU-R P.526-11</li> <li>Atenuación por gases: ITU-R P.676-11.</li> <li>Predicción Multi-trayectoria: ITU-R P.530-17.</li> <li>Análisis de reflexión: ITU-R P.530-17.</li> <li>Atenuación por Lluvia: ITU-R P.530-17.</li> <li>Atenuación por vegetación: ITU-R P.833-9.</li> <li>Características de error y predicción de disponibilidad: ITU-R F.1668 y ITU-R F.1703.</li> </ul>
7	Modulación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contar con al menos 2 puertos IF.</li> <li>Modulación adaptativa desde: QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM, 512QAM, 1024QAM, 2048QAM, 4096 QAM.</li> <li>Manejo de tramas IP, SDH y EI nativo y emuladas.</li> <li>Modulación adaptativa (AM).</li> <li>Agregación de canal físico (PLA) y agregación de canal mejorada (EPLA).</li> </ul>
8	ODU (Unidad de canal de datos óptico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dispositivo de Radiofrecuencia de uno o dos canales.</li> <li>El módem puede ser integrado dentro del equipo ODU.</li> </ul>
9	Radio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frecuencia banda licenciada de 7, 10.5, 15 y 23 GHz.</li> <li>Anchos de canal de 7, 14, 28, 56 MHz o superior.</li> <li>Configuración de radio <ul style="list-style-type: none"> <li>N+0 (N≤8), 2x 4+0, 4x 2+0, 1+1, 2+2.</li> </ul> </li> <li>Con control adaptativo de ancho de banda multi-carrier.</li> <li>Protección y diversidad: HSB, SD (BBS).</li> <li>Utilización de espectro alta: QPSK a 2048 QAM w/ACM.</li> <li>Duplicidad de canal de radio mediante polarización ortogonal: XPIC.</li> <li>Potencia mínima: 20 dBm, potencia máxima: 28 dBm o superior.</li> <li>Los niveles de potencia dependen de la tecnología empleada como modulación y frecuencia de operación.</li> </ul>
10	Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Protocolos de seguridad <ul style="list-style-type: none"> <li>Radio Encryption – AES 256.</li> <li>Secured protocols: <ul style="list-style-type: none"> <li>HTTPS</li> <li>SNMPv3</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>SSH</li> <li>SFTP</li> <li>• Autenticación de radio y autorización.</li> <li>• Función de bloqueo antirrobo.</li> </ul>
11	Sincronización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribución de señales de sincronización <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Distribución de sincronización a través de cualquier interfaz de tráfico (GE/FE, E1, STM-1).</li> <li>○ Interfaz de sincronización dedicada (In/Out) (E1/2 MHz).</li> <li>○ SyncE (ITU-T G.8261, G.8262).</li> <li>○ Soporte para aplicaciones anillo/malla SSM/ESMC (ITU-T G.8264).</li> <li>○ Modo regenerador SyncE de grado PRC (ITU-T G.811) para aplicaciones de canal inteligente (smart pipe).</li> </ul> </li> <li>• IEEE-1588 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Transporte optimizado para PDV reducido.</li> <li>○ IEEE-1588 TC.</li> <li>○ IEEE-1588 BC*.</li> </ul> </li> </ul>
12	Sistema de Gestión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una licencia de software para la administración y monitoreo del estado de los equipos, válida por un periodo inicial de 3 años, con la opción de renovación mediante el procedimiento correspondiente. Además, de ser transferible a otro equipo en caso de que se requiera un RMA (Return Merchandise Authorization).</li> <li>• Gestión mediante el Sistema de Gestión de Red (NMS) unificado con equipos de transmisión óptica.</li> <li>• Soporte de interfaces abiertas y el estándar de administración de red (SNM).</li> <li>• El equipo de red deberá estar equipado con conector USB para la gestión de carga y descarga de datos.</li> <li>• Se debe garantizar la capacidad de recopilar el tráfico de operación y mantenimiento de múltiples dispositivos de microondas pertenecientes a diferentes enlaces en un solo dispositivo, con el fin de transportar dicho tráfico de operación y mantenimiento (O&amp;M) hacia el Sistema de Gestión de Red (NMS).</li> <li>• Indicar cuántas direcciones necesita para la gestión de cada dispositivo de microondas (por ejemplo, el tamaño de la gama de subredes IP).</li> <li>• La plataforma de red (NMS) debe soportar Y.1564 (Metodología de pruebas de la activación del servicio Ethernet) para realizar las pruebas de enlace correspondientes.</li> <li>• La gestión debe ser a través de una herramienta de administración centralizada de los equipos: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Interfaz WEB embebida en la unidad y configurada con una dirección IP.</li> <li>○ Debe soportar SNMP versión 3.</li> <li>○ Telnet y SSH.</li> <li>○ Indicador led en la unidad externa (ODU) (opcional).</li> <li>○ Gestión de IPv4/IPv6.</li> <li>○ Navegador web incorporado para configuración y monitoreo de elementos de red.</li> <li>○ Sistemas de supervisión intuitivos.</li> <li>○ Agente SNMP con capacidad de redireccionamiento TCP/IP.</li> </ul> </li> </ul>
13	TDM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaces TDM <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1RU Chassis: 80 x E1s; 5 x ch-STM-1s, 4 x STM-1s.</li> <li>○ 2RU Chassis: 160 x E1s; 10 x ch-STM-1s, 8 x STM-1s</li> </ul> </li> <li>• Características TDM</li> </ul>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Servicios TDM Nativos y TDM PWE usando el mismo hardware.</li> <li>○ ch-STM-1 MUX (VC12) integrado.</li> <li>○ Capacidad XC – 512 VCs.</li> <li>○ Opciones de tiempo – Sincronización de reloj (Loop timing), sistema de reloj, sincronización de tiempo (ajuste de reloj).</li> <li>○ 1+1 / 1:1 protección de trayectoria.</li> <li>○ Clear-channel STM-1 (RST).</li> </ul>
--	--	---

### 2.2.2 Diseño de los enlaces de microondas

En esta sección se presentan tablas que contienen los resultados y características técnicas de cada enlace de microondas propuesto, cabe señalar que para el diseño de los enlaces se emplean los datos de ubicación de torres recabados mediante las encuestas (que fueron entregados por las dependencias).

El análisis de la viabilidad de cada enlace se realiza mediante simulaciones en software especializado en el diseño de redes (tanto para enlaces PtP como PmP). El software permite la incorporación de perfiles de trayectoria de enlace adaptables en el proceso de diseño, permitiendo definir altura de antenas sobre la torre simplificando los cálculos de los enlaces.

Algunas características del software empleado en el diseño de los enlaces de microondas son:

- Datos de elevación del terreno con resolución plana de 2 a 30 m (DEM predeterminado).
- Datos de resolución de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m) de cobertura arbórea global con información sobre la altura de los árboles
- Datos globales de construcción en 3D de la base de datos del proyecto OpenStreetMap. Fuente de datos: nuestra base de datos de edificios, que se sincroniza con la base de datos global de OpenStreetMap.

Estos datos se descargan automáticamente en la región de análisis, en este caso el estado de Sonora. El programa permite utilizar mapas como OpenStreetMap, OpenTopoMap, US Topo, etc. El cálculo de los parámetros de enlace de microondas PtP y PmP, incluye:

- Análisis del perfil de trayectoria (evaluar diferentes criterios de despeje, pérdida de obstrucción, geometría de reflexión)



- Predicción de probabilidad de desvanecimiento por trayectos múltiples (método Rec. UIT-R P.530-17; método de Vigants-Barnett)
- Estimación del desvanecimiento por lluvia (método Rec. UIT-R P.530-17; método Crane)
- Cálculo de mejora de la diversidad (frecuencia, espacio y diversidad cuádruple)
- Característica de error y predicción de disponibilidad (Rec. UIT-R F.1668, Rec. UIT-R F.1703)
- Análisis de reflexión (Rec. UIT-R P.530-17)
- Análisis de pérdidas por difracción (Rec. UIT-R P.526-15 Método Bullington completo o método de difracción en múltiples cilindros; método del principio de Deygout con corrección UIT-R P.526-11; método de Epstein-Peterson)
- Atenuación gaseosa (Rec. UIT-R P.676-11)
- Atenuación por vegetación (Rec. UIT-R P.833-9)

Los datos sobre perfil de elevación y características del terreno son obtenidos mediante el software de simulación a través de las bases de datos internacionales disponibles, por ejemplo:

- 1 Arc-second Digital Elevation Model USGS National Map 3DEP con cobertura para EU, Canadá y México
- Open digital terrain models (DTM) de geo servicios de la unión europea
- Mapas globales de alta resolución del cambio de cobertura forestal del siglo XXI Publicado por Hansen, Potapov, Moore, Hancher et al.
- Departamento de Ciencias Geográficas Universidad de Maryland
- Instituto de Tecnología de California (Jet Propulsion Laboratory)

En el modelado de cada enlace de la red troncal se especifican los parámetros mostrados en la sección 2.2.1, proponiendo frecuencia, ancho de banda, configuración, polarización, ganancia de antenas, tipo de antena, ancho de haz, etc.

El perfil de elevación permite realizar un análisis del terreno procurando contar con línea de vista en cada enlace. La línea de vista entre sitios se logra proponiendo la altura de las antenas en la torre y la distancia a la que se realiza cada enlace es obtenida de las ubicaciones físicas de cada torre que también son datos proporcionados por las dependencias.



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



En total se consideran 66 enlaces PtP (punto a punto), en la siguiente sección, se presentan los enlaces de microondas PtP diseñados.

### **2.3 Diseñar la topología de la red.**

El diseño de la red de Sonora tiene como prioridad conectar a las localidades que actualmente no cuentan con servicio de telecomunicaciones, incluyendo como puntos de interés a las escuelas, los centros de salud y los edificios de las dependencias del gobierno. Conectar al estado de Sonora, que es el segundo estado más grande en superficie de la República Mexicana, es un desafío por su fisiografía.

Con el esfuerzo conjunto de Gobierno Digital del estado y la CFE, se planea tener una sola red que sea capaz de brindar servicios que la población requiere. Esto se logra integrando la infraestructura de torres propias de Sonora y la fibra óptica de larga distancia con la que cuenta la CFE. Se diseña de esta manera porque la fibra de CFE no cubre la totalidad del territorio del estado, como se mostró en el mapa de la Figura 22. Para cubrir la zona centro y la zona este del estado, se diseñan enlaces de microondas para dar cobertura a las localidades que no cuentan con servicio de telecomunicaciones.

De las 424 torres con las que cuenta Sonora, se utilizan 150 torres que permiten dar servicio a los 72 municipios del estado. En la figura 22 se pueden observar los puntos de conexión en la fibra de CFE, los círculos que definen 50 km de radio, que indican la posibilidad de conectar la fibra óptica respecto al nodo de fibra de CFE y las torres que se propone que utilice el estado y contribuyen a la cobertura total de Sonora.

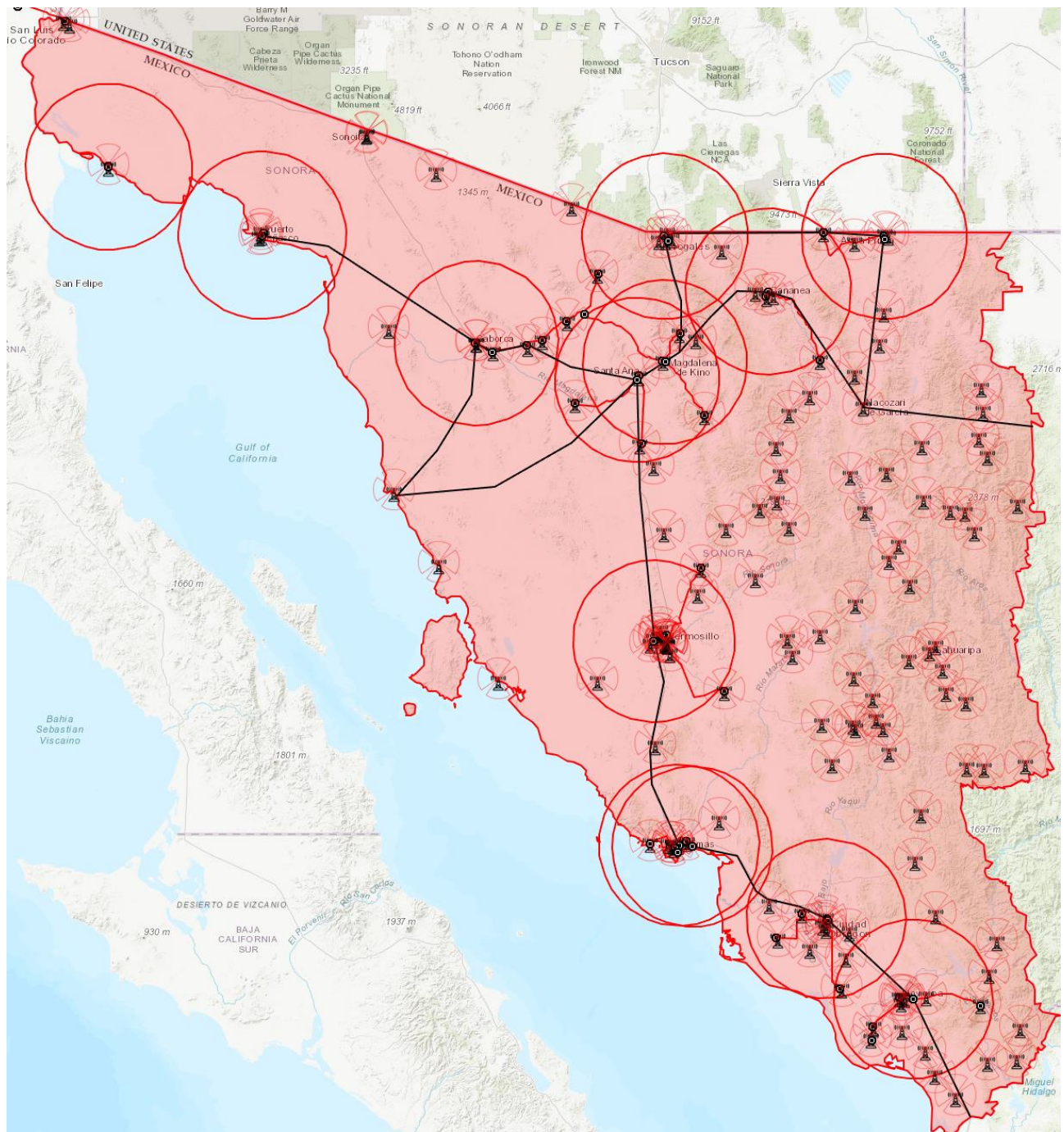


Figura 22. Infraestructura de Fibra Óptica de CFE

El conjunto de los enlaces punto a punto utilizando las torres y la trayectoria de la fibra óptica de CFE conforman la propuesta de la red troncal que llevará

Av. Luis Enrique Erro S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco, Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07738, México, Ciudad de México.



servicios al estado de Sonora. Para poder tener conectividad en las torres que no se encuentran en la trayectoria de la fibra óptica, se proponen enlaces punto a punto a partir de las torres que se propone conectar a la fibra óptica. En la figura 23 se puede observar la propuesta de la red troncal para Sonora.

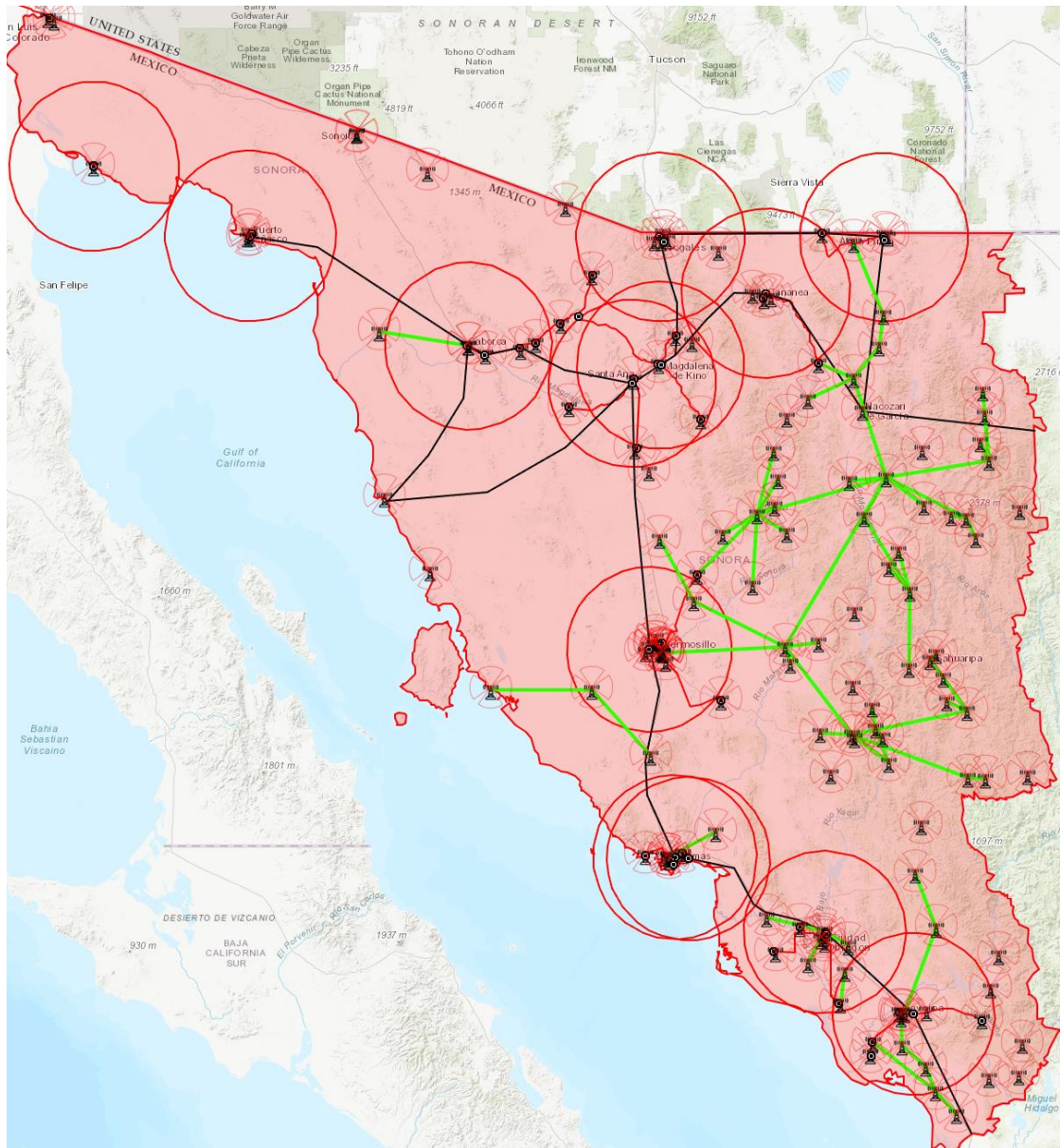


Figura 23. Enlaces punto a punto en color verde



### 2.3.1 Descripción de la red troncal.

Haciendo un recorrido de la red troncal, en la dirección norte a sur y de oeste a este, se propone que el municipio San Luis Río Colorado esté conectado mediante un enlace de fibra óptica proveniente de Mexicali, Baja California. La fibra óptica llega a un multiplexor óptico fijo de adición / caída (FOADM por sus siglas en inglés) de CFE y se propone extender la fibra óptica a una torre, que es propiedad de Telex, ubicada a 1.1 km de distancia. A partir de esta torre, se puede poner un enlace de microondas a la torre que se ubica en el C5 de San Luis Río Colorado para cubrir esta localidad. Mientras que el sur del municipio se conecta al nodo de fibra de CFE ubicado en Golfo de Santa Clara. En la figura 24 se puede observar el municipio con los enlaces antes mencionados.

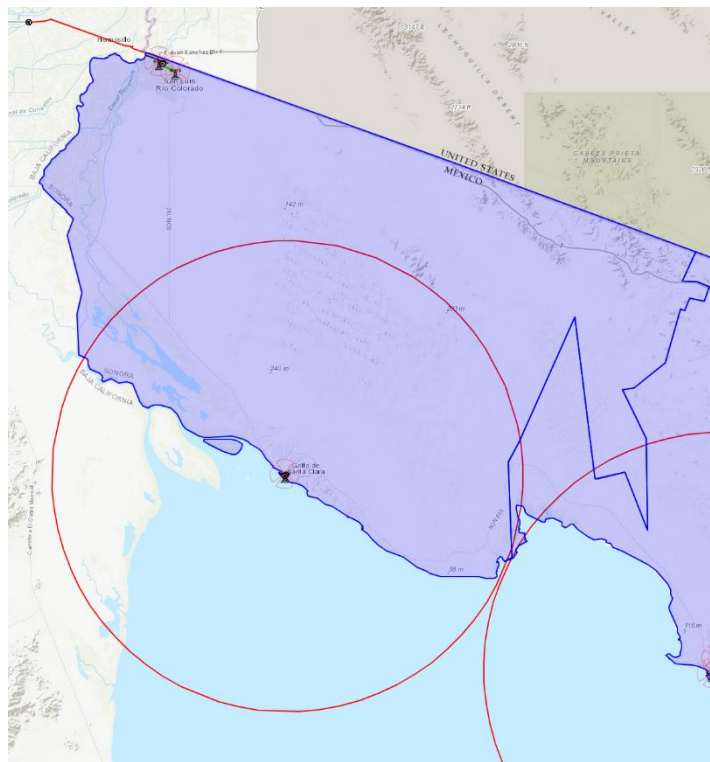


Figura 24. San Luis Río Colorado



El siguiente nodo de fibra óptica se ubica en Puerto Peñasco que se propone se extienda a 3 torres propiedad del estado. En la figura 25 se muestra el municipio de Puerto Peñasco.

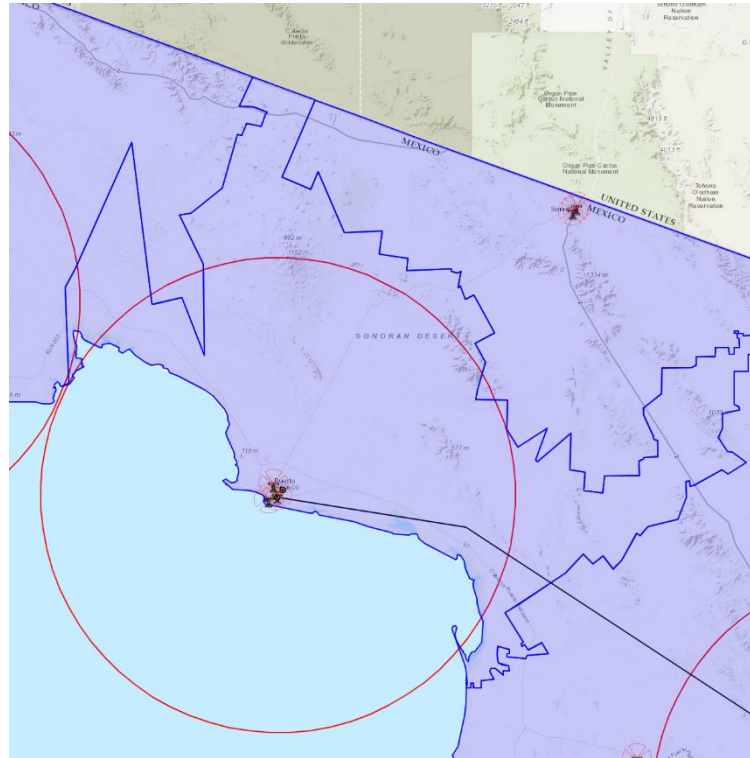


Figura 25. Puerto Peñasco

La fibra óptica continúa el recorrido desde Puerto Peñasco hacia el municipio de Caborca. Adicional a la fibra óptica de la red troncal, el municipio de Caborca cuenta con un tendido de fibra óptica que llega a Pitiquito, Altar, Oquitoa, Atil, Tubutama y finaliza en Sáric. En la siguiente figura se puede observar la topología de Caborca.

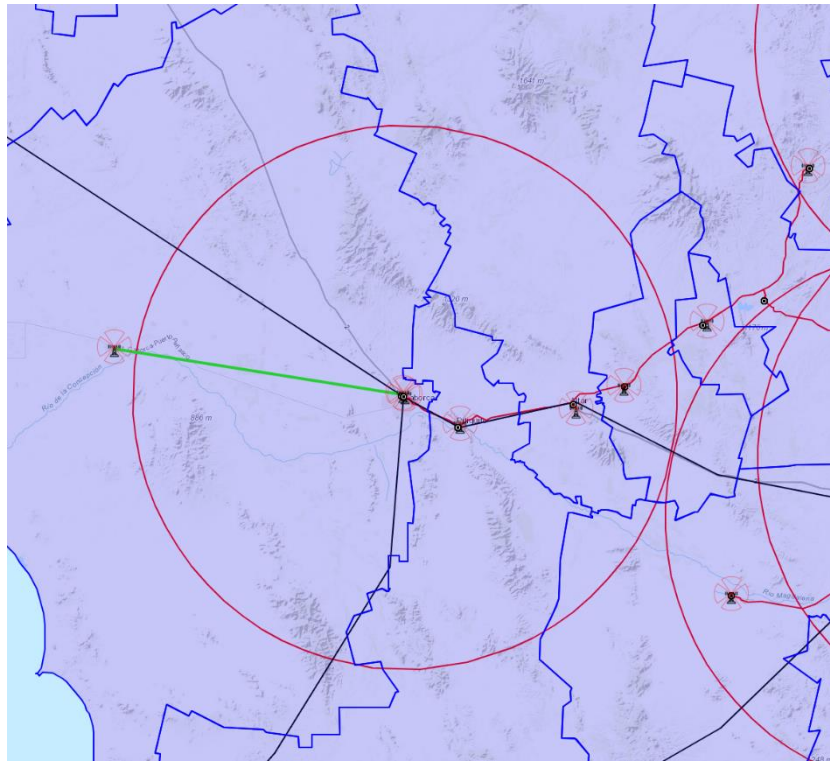


Figura 26. Caborca

La red troncal desde Caborca se enlaza con los nodos ubicados en Santa Ana y Magdalena, para dar servicio a los municipios de Santa Ana, Magdalena e Ímuris, como se puede observar en la figura siguiente. La fibra óptica, desde Santa Ana, tiene dos caminos, el primero hacia el municipio de Magdalena y el segundo camino hacia el sur del estado.

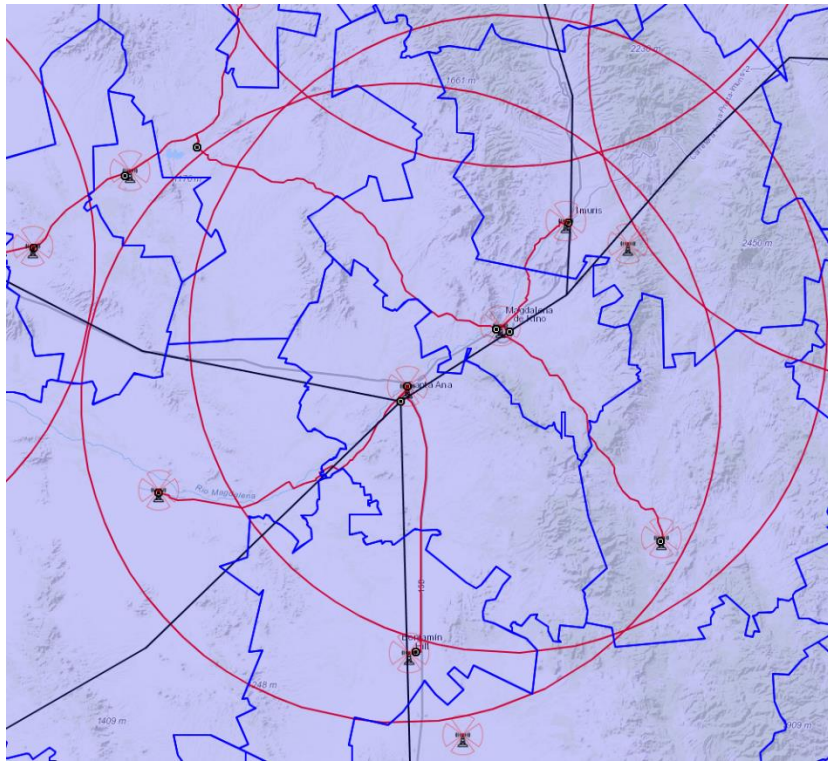


Figura 27. Santa Ana y Magdalena

Desde Magdalena, la fibra óptica toma dos caminos, el primero hacia el Hotel de CFE en Nogales y el segundo hacia Cananea. Después de Cananea, la fibra óptica tiene trayectoria hacia Nacozari de García para continuar hasta el estado de Chihuahua. Después de Nogales, la fibra óptica continúa por la frontera con Estados Unidos de América hasta llegar al municipio de Agua Prieta, para dirigirse hacia Nacozari de García. En la figura 28 se pueden observar los municipios mencionados con sus nodos correspondientes.

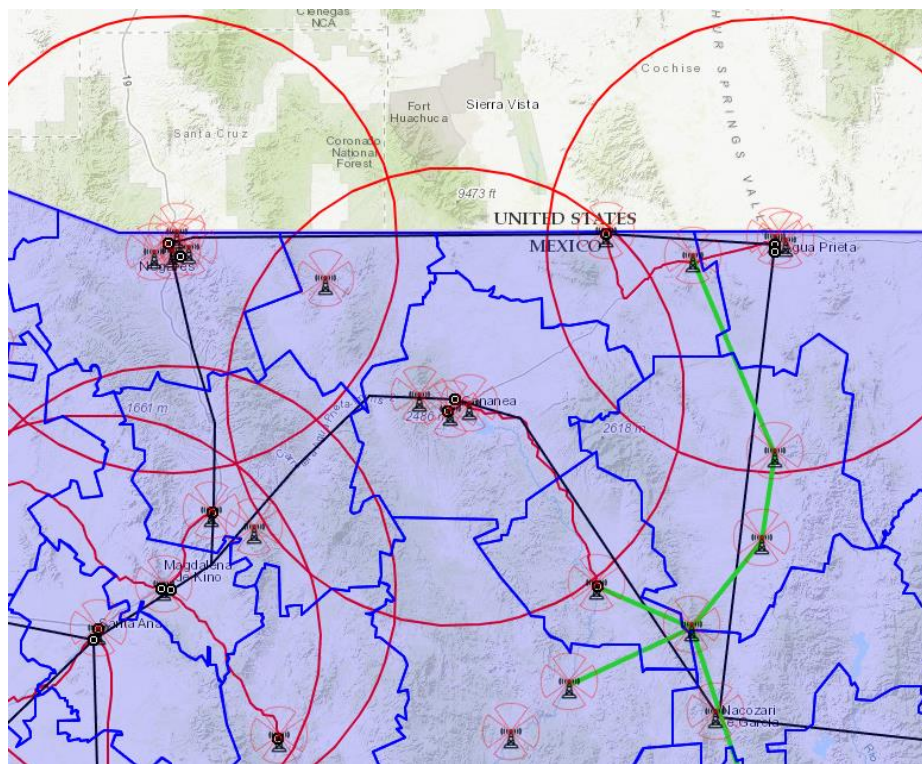


Figura 28. Nogales, Cananea y Agua Prieta

Retomando el nodo del municipio de Santa Ana, la fibra óptica continúa su trayecto hacia el sur del estado hasta el siguiente nodo ubicado en Hermosillo, pasando por los municipios de Opodepe, Benjamín Hill, Carbó y San Miguel de Horcacitas.

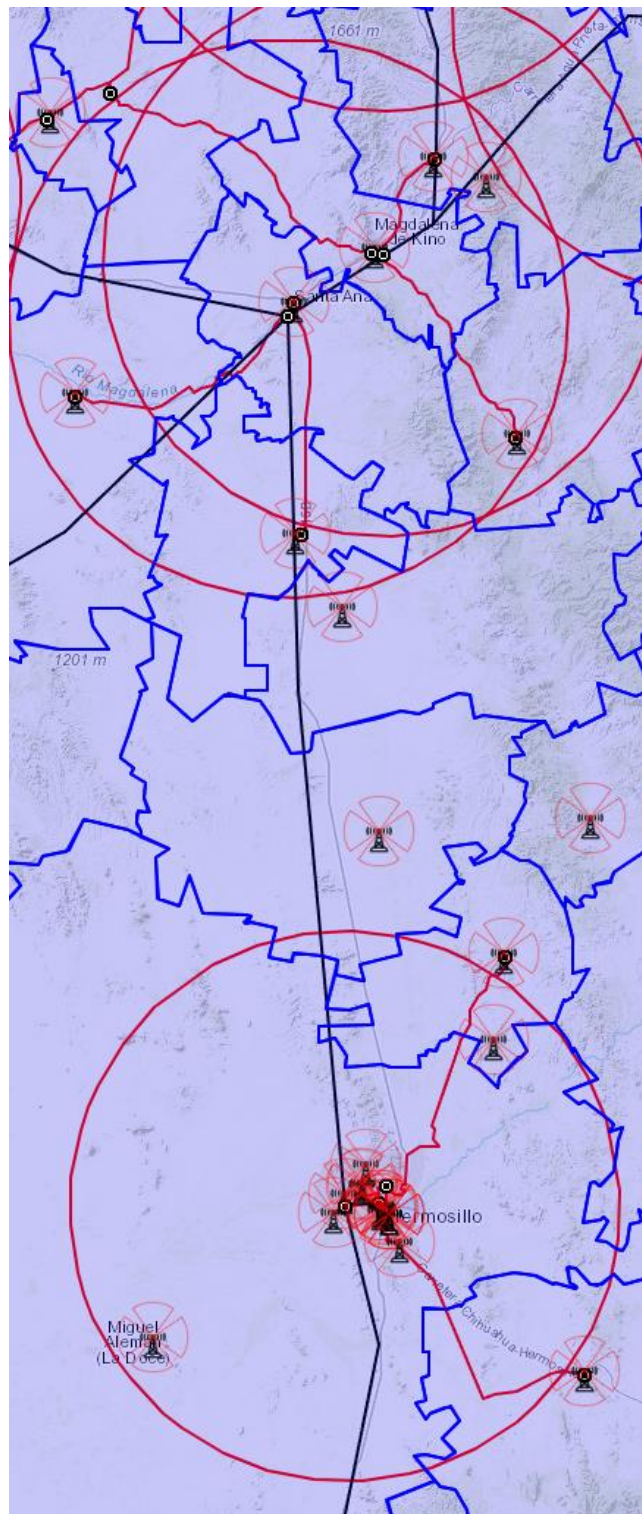


Figura 29. Trayectoria de Santa Ana a Hermosillo



El nodo de Hermosillo cuenta con dos tendidos de fibra óptica desplegados hacia San Miguel de Horcacitas y al municipio de La Colorada. Estos enlaces con de lo que CFE denomina como "red metropolitana", pero la red troncal continúa a los nodos ubicados en el municipio de Guaymas y en el municipio de Empalme. En la siguiente figura, se pueden observar los nodos de fibra óptica de CFE de Guaymas y de Empalme.

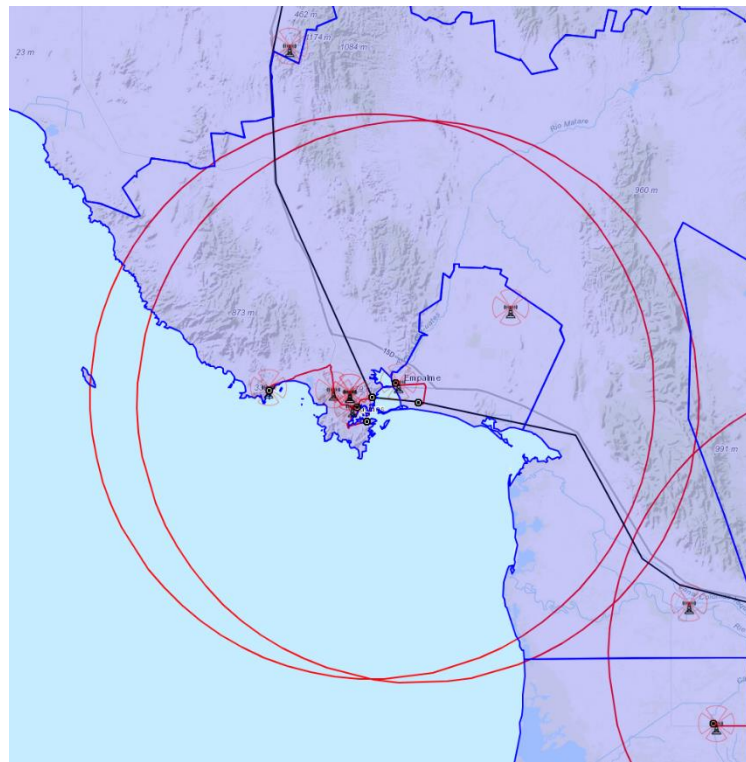


Figura 30. Guaymas y Empalme

La fibra óptica continúa desde Empalme hasta el nodo en Ciudad Obregón, para finalizar en el nodo de Navojoa. En la siguiente figura se pueden observar los últimos dos nodos que CFE tiene en el estado.

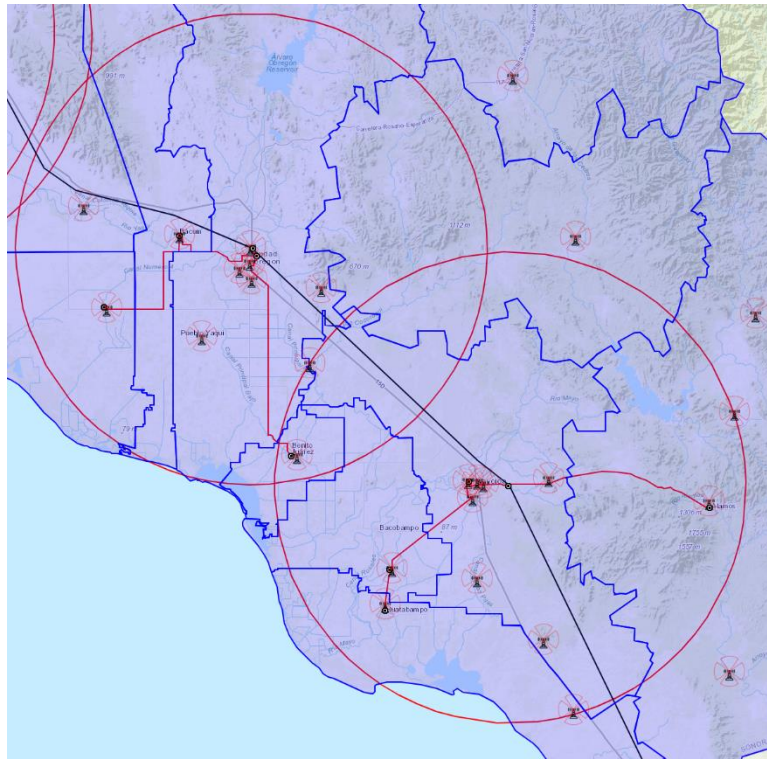


Figura 31. Ciudad Obregón y Navojoa

Para complementar la red de fibra óptica, se propone integrar una red de enlaces de microondas robustos con equipos que sean modulares para evitar que el gobierno del estado realice una inversión en el corto y mediano plazo y así tener cubierto el crecimiento que pueda tener la región. Se proponen 66 enlaces de microondas para cubrir las necesidades que tiene el estado y que se complique el despliegue de fibra óptica, sobre todo en la zona de la sierra.

Los nodos de CFE que cuentan con enlaces de microondas son:

- Puerto Peñasco
- Caborca
- Agua Prieta
- Hermosillo
- Guaymas
- Ciudad Obregón
- Navojoa



De acuerdo con la topología propuesta, los nodos de Agua Prieta, Hermosillo y Navojoa son los que cuentan con enlaces de microondas dirigidos a la zona de la sierra del estado. La topología de la fibra óptica es tipo Bus, mientras que la de los enlaces de microondas es una topología mixta, considerando una topología en árbol y en estrella que permiten llegar a los municipios ubicados en la sierra. En la figura 32 se muestra la red de microondas propuesta.

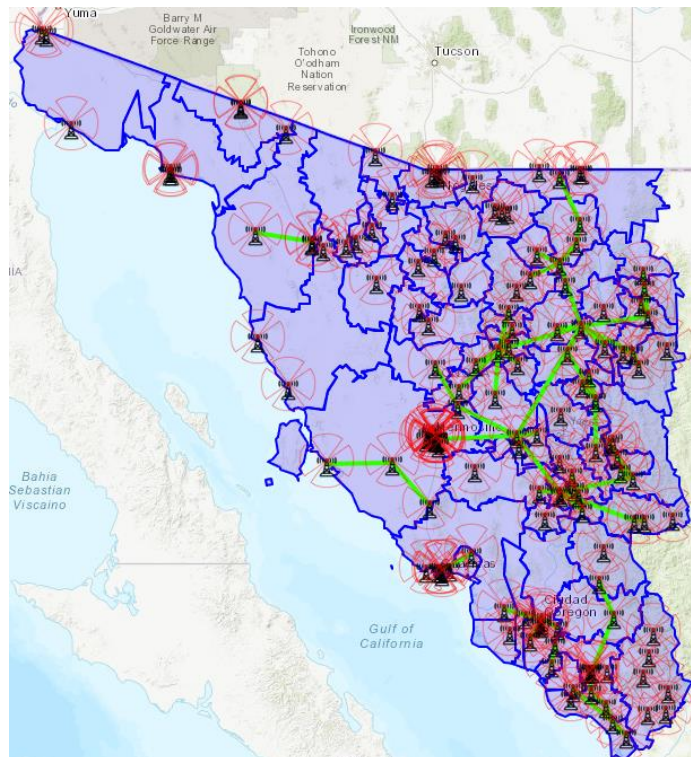


Figura 32. Red de Microondas con las torres propuestas para la Red Troncal

Para el diseño de los enlaces de microondas, se utilizan datos cartográficos que permiten analizar la posibilidad de línea de vista y el perfil del terreno. En este diseño, se consideran las alturas de las torres existentes y el sistema de antenas con el que actualmente cuentan. Cada uno de los enlaces de microondas cuenta con un reporte de ingeniería que incluye los datos de la siguiente tabla.



Tabla 18. Datos incluidos en los reportes de ingeniería de los enlaces.

Nombre del Sitio	Apuntamiento de la antena
Localización	Altura de la antena en la torre
Frecuencia	Modulación y codificación
Ancho de Banda	Bitrate
Configuración del Equipo de Radio	Potencia transmisora
Polarización	Umbral de recepción
Distancia	Disponibilidad anual
Pérdidas por espacio libre	Perfil del Enlace

La red de microondas propuesta, contempla 66 enlaces punto a punto. La ruta de estos enlaces empieza en los nodos de agregación de fibra óptica. Los enlaces son los siguientes:

- San Luis Río Colorado – C5 San Luis Río Colorado
- Cerro Moyahui – Universidad de Sonora Módulo Navojoa
- Cerro Moyahui – Cerro Rosario
- Masiaca – Casa de Salud Sirebampo
- Centro de Salud Bacábachi – Masiaca
- Casa de Salud de Sirebampo – Cecytes de Ejido 24 de febrero
- Cerro Campanero 2 – Palacio Municipal de Yécora
- Cerro Nahuila – Cerro Campanero 2
- Cerro Nahuila – Palacio Municipal de Onavas
- Cerro Nahuila –Palacio Municipal de San Javier



- Cerro Nahuila – Cerro San Ignacio
- Palacio Municipal de Onavas – Cerro San Antonio de la Huerta
- Cerro San Antonio de la Huerta – Centro de Salud 64 de Tonichi
- Cerro San Antonio de la Huerta – Palacio Municipal de Soyopa
- Biblioteca pública de Tecorip – Cerro Nahuila
- Cerro Nahuila – Cerro Mazatán
- Hermosillo – Cerro Mazatán
- Cerro Mazatán – Cerro del Carmen
- Cerro Aconchi – Cerro del Carmen
- CFE San Miguel de Horcacitas – Cerro Aconchi
- Cerro del Carmen – Cerro Punta Aguja
- Cerro del Carmen – Cerro Purica
- Palacio Municipal de Bacoachi – Cerro Purica
- Cerro Purica – Centro de Salud 120 de Esqueda
- Cerro Punta Aguja – Huachinera
- Cerro Punta Aguja – Palacio Municipal de Bacerac
- Cerro Punta Aguja – Palacio Municipal de Bavispe
- Centro de Salud 120 de Esqueda – Palacio Municipal de Fronteras
- Cerro Purica – Centro de Salud de Chinapa
- Cerro Aconchi – San Felipe de Jesús
- Cerro Aconchi – Banámichi
- Cerro Aconchi – Sinoquipe
- Cerro del Carmen – Cumpás
- Cerro del Carmen – Palacio Municipal de Moctezuma
- Cerro Aconchi – Baviácor
- Cerro Aconchi – Ures
- Cerro Aconchi – Rayó
- Carrizo – Carbó
- Cerro Lucero – Palacio Municipal de Moctezuma
- Ayuntamiento de Granados – Cerro del Carmen
- Divisaderos – Cerro Lucero
- Cerro Lucero – Tepache
- Cerro Pinalito – Nácori Chico
- Cerro Pinalito – Palacio Municipal de Bacadehuachi
- Cerro Mazatán – Palacio Municipal de Villa Pesqueira



- Mazatán – Cerro Mazatán
- Cerro San Ignacio – Comisaría del Valle Tacupeto
- Cerro San Ignacio – Repetidor Arivechi
- Repetidor Arivechi – Cerro Batochi
- Cerro Batochi – Palacio Municipal de Sahuaripa
- Cerro Lucero – Repeidor Bacanora
- Cerro Las Avispas – Cerro 7 Cerros
- Cerro 7 Cerros – Comandancia Municipal
- Cerro Caborca – Cecytes "Y"
- CFE Puerto Peñasco – Torre Subcentro C5
- CFE Puerto Peñasco – Torre H. Ayuntamiento
- Palacio Municipal de Fronteras – Cerro Ocotillo
- Guaymas – Centro de Salud Antonio Rosales
- C5i Obregón – Onteme
- C5i Obregón – Torre Pueblo Yaqui
- C5i Obregón – Cabaña
- DIF Municipal de Villa Juárez – C. de Salud de Santa María del Buraje Nvo
- Universidad Estatal de Sonora, Módulo Navojoa – C. de Salud Bacabachi
- Palacio Municipal Etchojoa – Casa de Salud de Sirebampo
- Cerro Mazatan – Carrizo
- Cerro Pinalito – Cerro del Carmen

### **2.3.2 Reporte de los enlaces de microondas.**

Los enlaces de microondas cuentan con un reporte de ingeniería del radioenlace. La red troncal cuenta con 66 enlaces propuestos de microondas que complementan la red de fibra óptica. Se recomienda que el equipo de radio para estos enlaces sea modular y de alta capacidad, para que no sea una inversión perdida en dado caso que se requiera aumentar los enlaces por el crecimiento de las necesidades de conectividad. Los reportes de los 66 enlaces se presentan en un documento anexo. A continuación, se presenta el ejemplo de un informe de enlace como los que se encuentran en el anexo. Este informe es para un enlace en el municipio de San Luis Río Colorado.



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



**REPORTE DE RADIOENLACE**  
**SAN LUIS RÍO COLORADO - C5 San Luis Rio Colorado**

Nombre	Sitio A	Sitio B
Nombre del Sitio	SAN LUIS RÍO COLORADO	C5 San Luis Rio Colorado
Localización	N32.473614° W114.784344°	N32.456613° W114.746291°
Equipo de radio	Nodo de agregación de alta capacidad	
Producto	Nodo de agregación de alta capacidad	
Frecuencia	7285.5 MHz	
Ancho de banda	28 MHz	
Configuración	1 + 0	
Ramificación	No	
Diversidad	No	
Polarización	Horizontal	
Distancia del enlace	4.044 km	
Pérdidas por espacio libre	121.8 dB	
Altura del terreno	41 m	43 m
Azimut	117.9°	297.9°
Ángulo de elevación	-0.2°	0.18°
Tipo de antena	VHLP	VHLP
Ganancia de antena	30 dBi	30 dBi
Ancho de haz vertical	4.7°	4.7°
Altura de la antena en la torre	35 m	20 m
Pérdidas por ramificación	0 dB	0 dB
Pérdidas del alimentador	0 dB	0 dB
Pérdidas totales	1 dB	1 dB
Modelo de propagación de difracción	Rec. ITU-R P.526-15 (Diffraction over multiple isolated cylinders)	
Pérdidas por difracción	0 dB	
Atenuación por gases	Rec. ITU-R P.676-11	
Pérdidas por absorción atmosférica	0.06 dB	
Predicción multi-trayectoria	Rec. ITU-R P.530-17	
Gradiente de refractividad puntual (dn1)	-347.5	
Desviación estándar de las alturas del terreno (Sa)	102.6 m	
Factor geoclimático (K)	0.0000393136	



Magnitud de la inclinación de la trayectoria (Ep)	3.2146 mrad
Factor de ocurrencia de multi-trayectoria (Po)	0.00453195%
Atenuación por lluvia	Rec. ITU-R P.530-17
Tasa de lluvia excedente por el 0.01% del tiempo	16.96 mm/hr
Atenuación excedente de trayectoria por el 0.01% del tiempo	0.59 dB

Modulación y codificación	Bitrate, Mbit/s	Potencia TX, dBm	Umbral RX, dBm	DFM, dB
BPSK	21	28	-88.0	67.7
QPSK	46	28	-87.0	67.7
8 PSK	70	28	-82.5	67.7
16 QAM	97	27	-80.5	67.7
32 QAM	129	27	-77.0	65.6
64 QAM	160	26	-74.0	62.5
128 QAM	193	26	-70.5	60.2
256 QAM	220	26	-67.5	57.8
512 QAM	244	25	-65.0	56.7
1024 QAM Strong	259	24	-62.5	55.4
1024 QAM Light	275	24	-61.5	55.1
2048 QAM	295	23	-58.0	53.7
4096 QAM	320	21	-55.0	51.5

Modulación y codificación	Nivel de Rx, dBm	Margen de desvanecimiento plano, dB	Probabilidad de interrupción no selectiva, %	Probabilidad de interrupción selectiva, %	Probabilidad de interrupción por polarización cruzada, %	Probabilidad anual de interrupción por lluvia, %
BPSK	-35.8	52.2	0.00000003	0.00000000	-	0.00000000
QPSK	-35.8	51.2	0.00000003	0.00000000	-	0.00000000
8 PSK	-35.8	46.7	0.00000010	0.00000000	-	0.00000000
16 QAM	-36.8	43.7	0.00000020	0.00000000	-	0.00000000
32 QAM	-36.8	40.2	0.00000044	0.00000000	-	0.00000000
64 QAM	-37.8	36.2	0.00000110	0.00000000	-	0.00000000
128 QAM	-37.8	32.7	0.00000246	0.00000000	-	0.00000000
256 QAM	-37.8	29.7	0.00000491	0.00000000	-	0.00000000



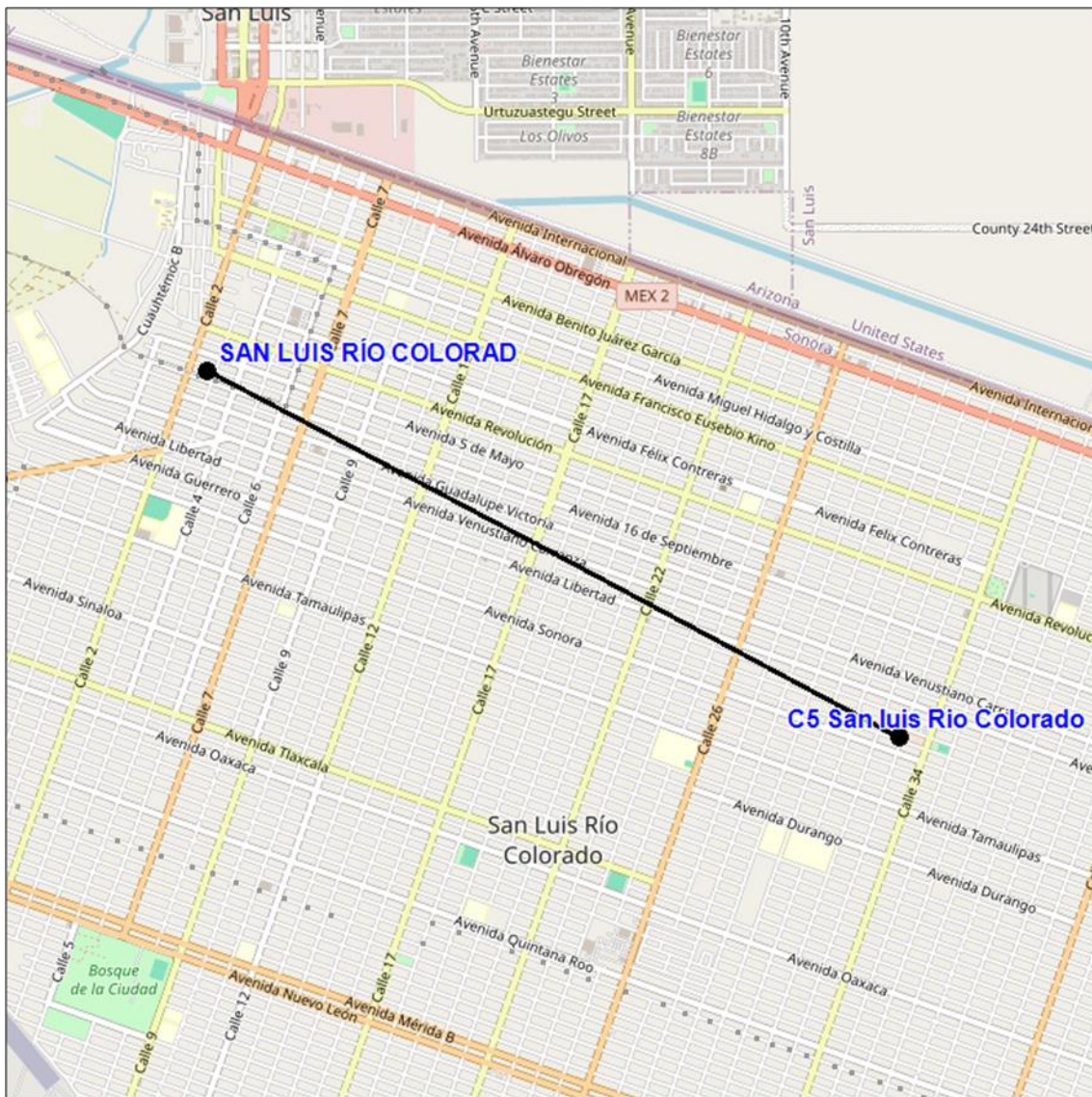
Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

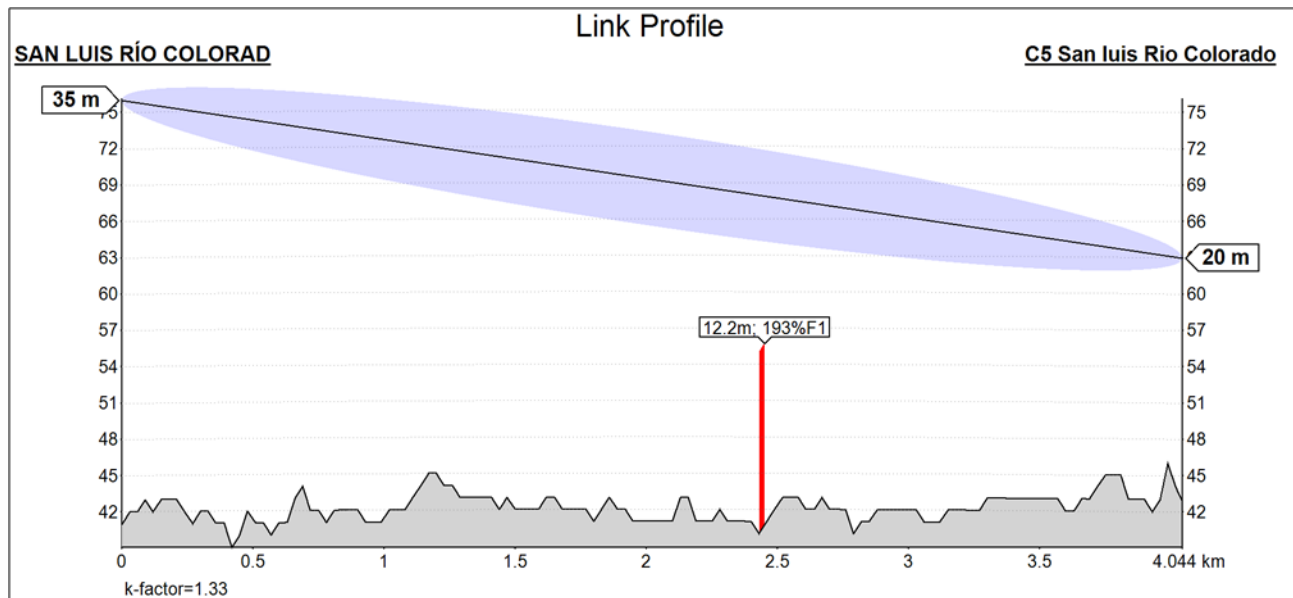
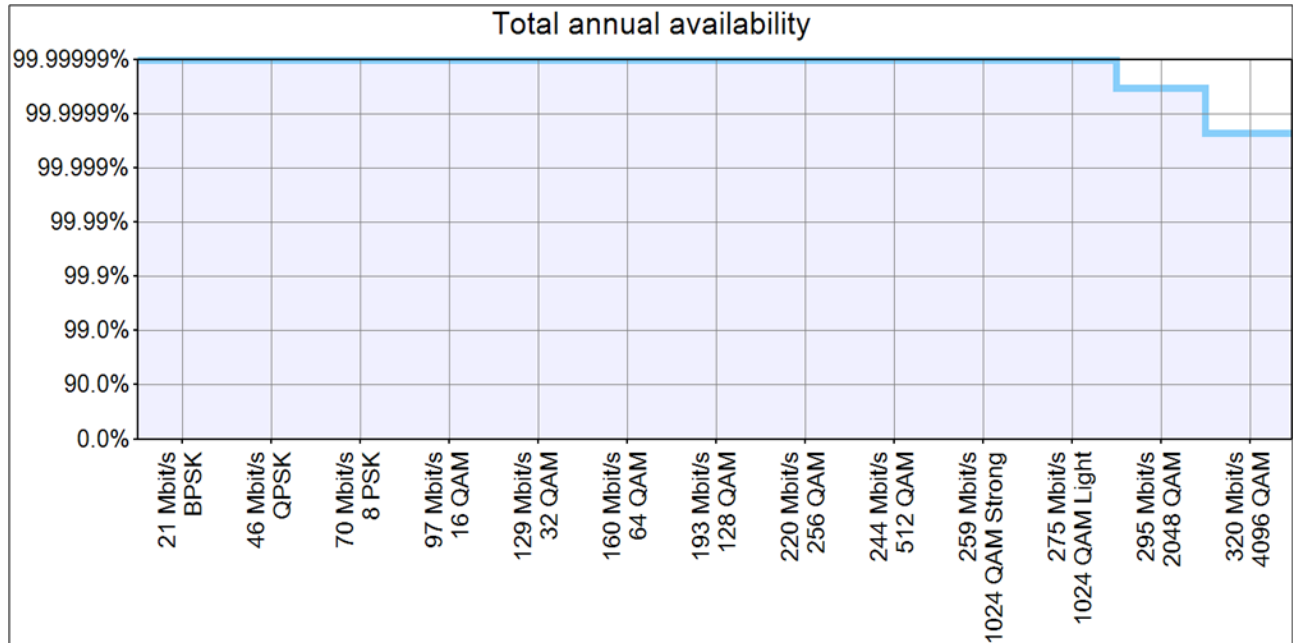
IPN-SONORA



512 QAM	-38.8	26.2	0.00001098	0.00000000	-	0.00000000
1024 QAM Strong	-39.8	22.7	0.00002458	0.00000000	-	0.00000000
1024 QAM Light	-39.8	21.7	0.00003405	0.00000000	-	0.00000000
2048 QAM	-40.8	17.2	0.00012372	0.00000001	-	0.00000000
4096 QAM	-42.8	12.2	0.00083145	0.00000001	-	0.00000000

Modulación y codificación	Disponibilidad anual multi-trayectoria, %	Indisponibilidad anual multi-trayectoria, sec	Disponibilidad anual por lluvia, %	Indisponibilidad anual por lluvia, sec	Disponibilidad anual total, %	Indisponibilidad anual total, sec
BPSK	100.0000000	0.00	100.0000000	0.00	100.0000000	0.00
QPSK	100.0000000	0.00	100.0000000	0.00	100.0000000	0.00
8 PSK	100.0000000	0.01	100.0000000	0.00	100.0000000	0.01
16 QAM	99.9999999	0.02	100.0000000	0.00	99.9999999	0.02
32 QAM	99.9999999	0.04	100.0000000	0.00	99.9999999	0.04
64 QAM	99.9999997	0.09	100.0000000	0.00	99.9999997	0.09
128 QAM	99.9999993	0.21	100.0000000	0.00	99.9999993	0.21
256 QAM	99.9999987	0.42	100.0000000	0.00	99.9999987	0.42
512 QAM	99.9999970	0.93	100.0000000	0.00	99.9999970	0.93
1024 QAM Strong	99.9999934	2.09	100.0000000	0.00	99.9999934	2.09
1024 QAM Light	99.9999908	2.89	100.0000000	0.00	99.9999908	2.89
2048 QAM	99.9999667	10.51	100.0000000	0.00	99.9999667	10.51
4096 QAM	99.9997761	70.60	100.0000000	0.00	99.9997761	70.60







Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



### 2.3.3 Red troncal integrada.

La propuesta de la red troncal para el estado de Sonora tiene infraestructura de CFE y de algunas dependencias del gobierno del estado. Por lo que se recomienda que Gobierno Digital tenga la administración de la red para poder manejar los recursos de manera eficiente y que más le convenga al estado. En la figura 33 se observa la trayectoria de la red troncal de fibra óptica y la red troncal de microondas con las torres del estado.

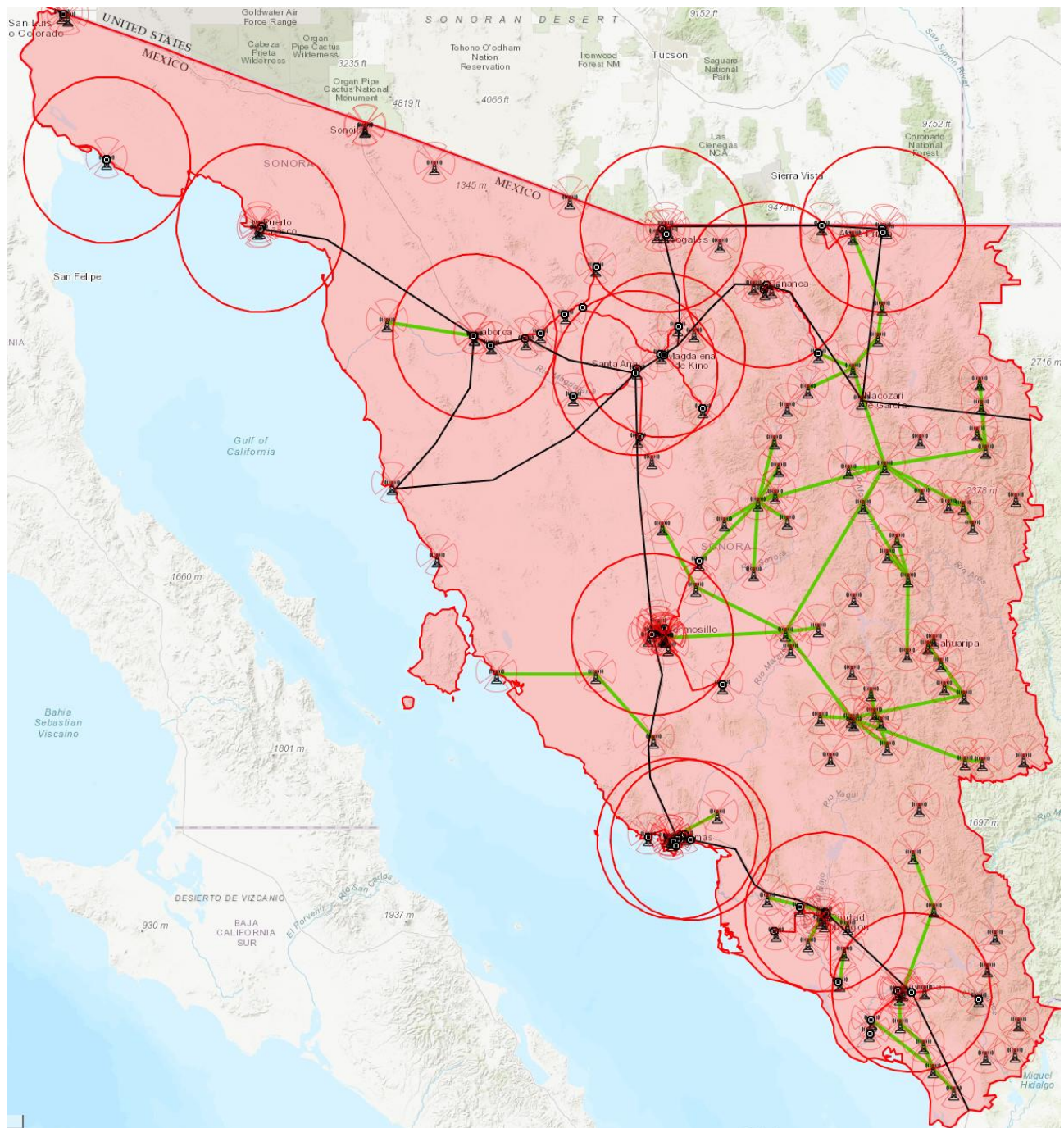


Figura 33. Red Troncal Integrada

En la figura 34 se observa el mapa de cobertura para el estado junto con las localidades de 50 habitantes o más para comprobar que la red puede darles



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



servicio a los usuarios de estas localidades. Esta cobertura muestra la capacidad que tiene la red para otorgar servicios mediante enlaces punto a punto o punto a multipunto. La red de acceso, o de última milla, puede estar a cargo del servicio "MIFI" que proporciona CFE o de proveedores locales de servicio de internet inalámbrico, conocidos como WISP, siempre y cuando la red cuente con una administración completa. Se recomienda que el gobierno del estado utilice la figura 34 como un instrumento de planeación de la red de acceso, tipificando los servicios que brindará la red y asignando prioridades.

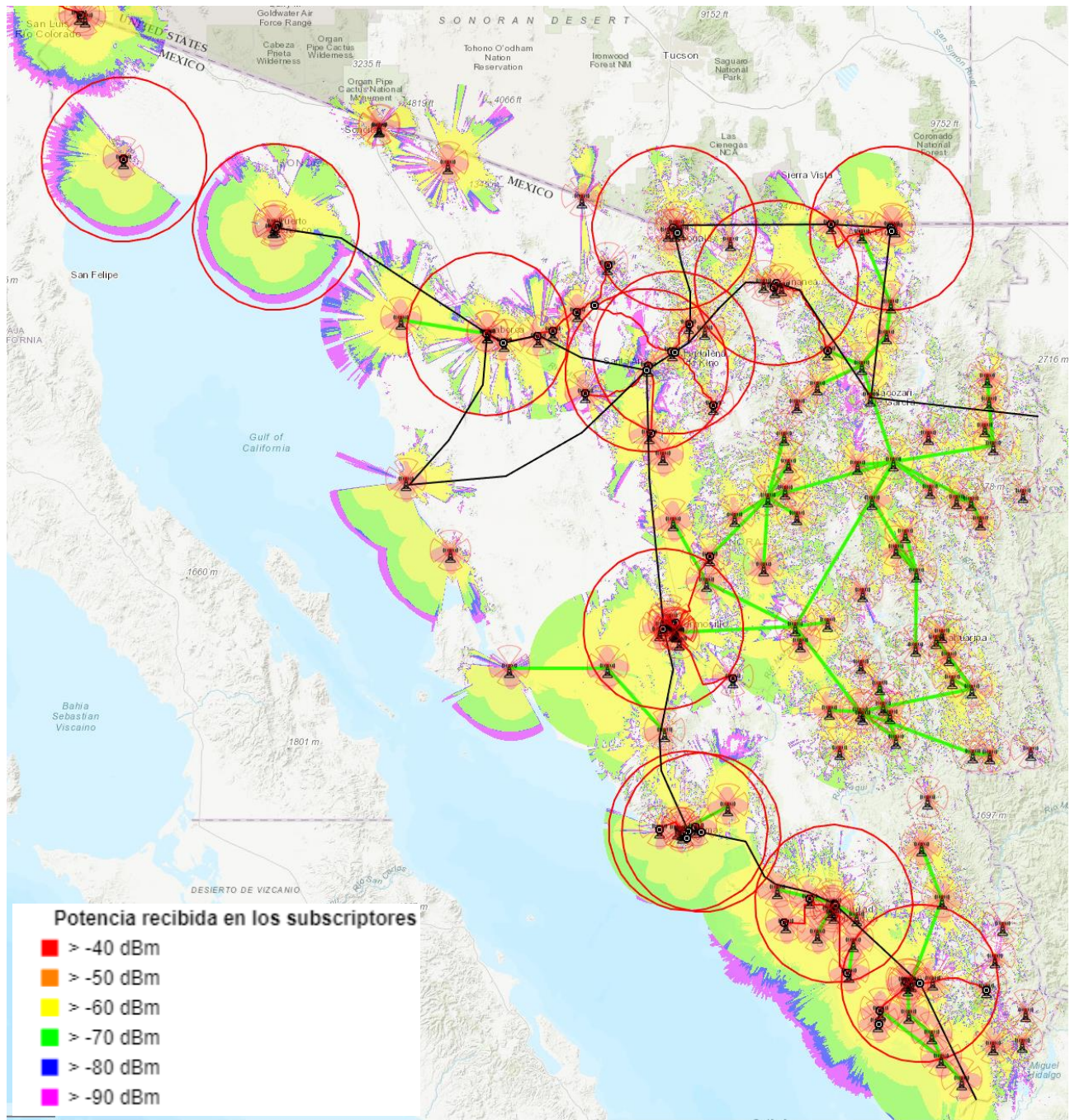


Figura 34. Capacidad de cobertura modelada



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA



La capacidad de cobertura propuesta cubre a todas las localidades que tienen más de 50 habitantes, como se puede observar en la figura 35. De igual manera se comprueba la cobertura para las escuelas, hospitales, clínicas, dependencias del gobierno de Sonora, banco del bienestar, CONAHCYT, Guardia Nacional, SEDENA y UBBJ de la figura 36 a la figura 39.

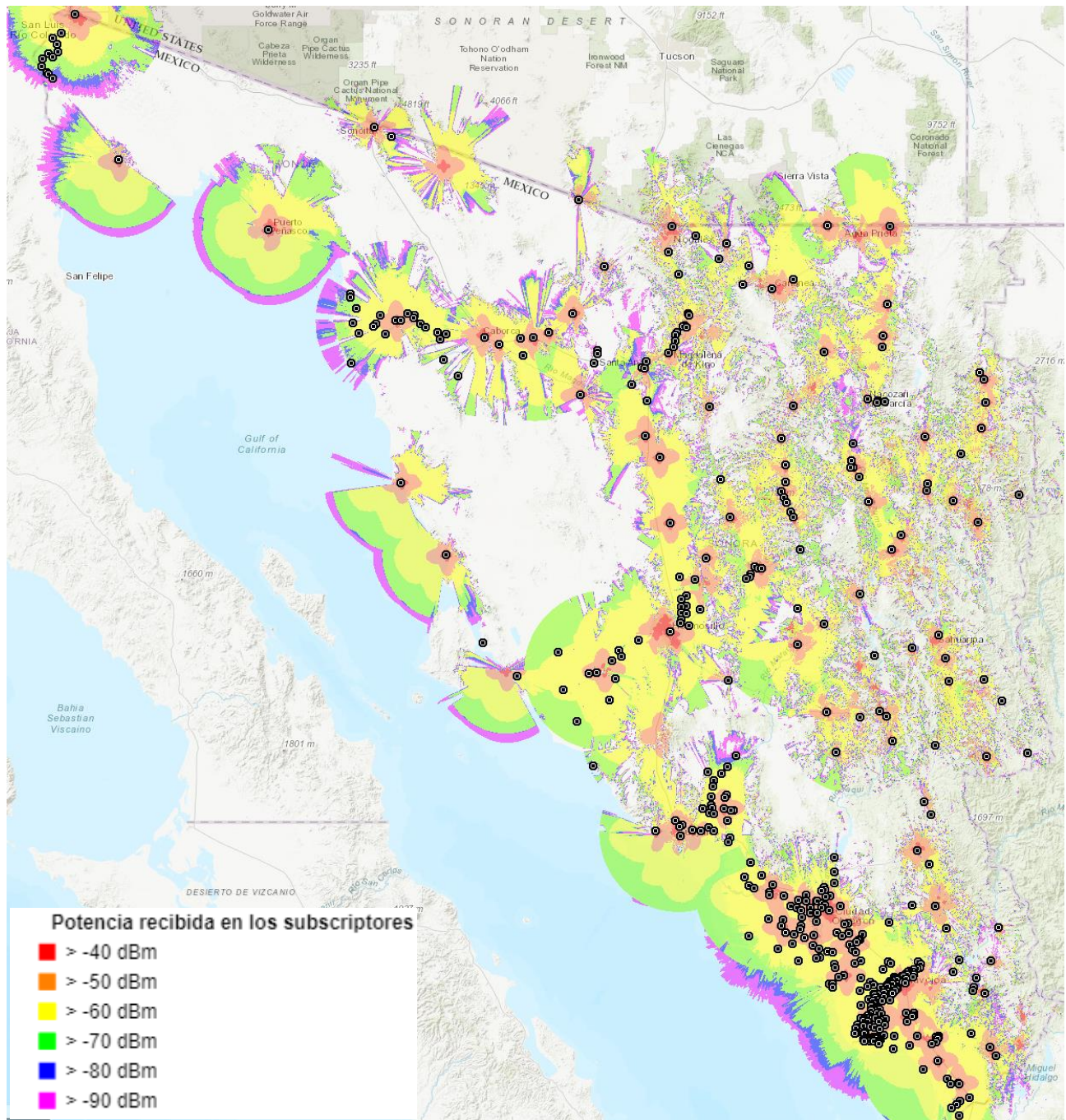


Figura 35. Cobertura para las localidades con más de 50 habitantes

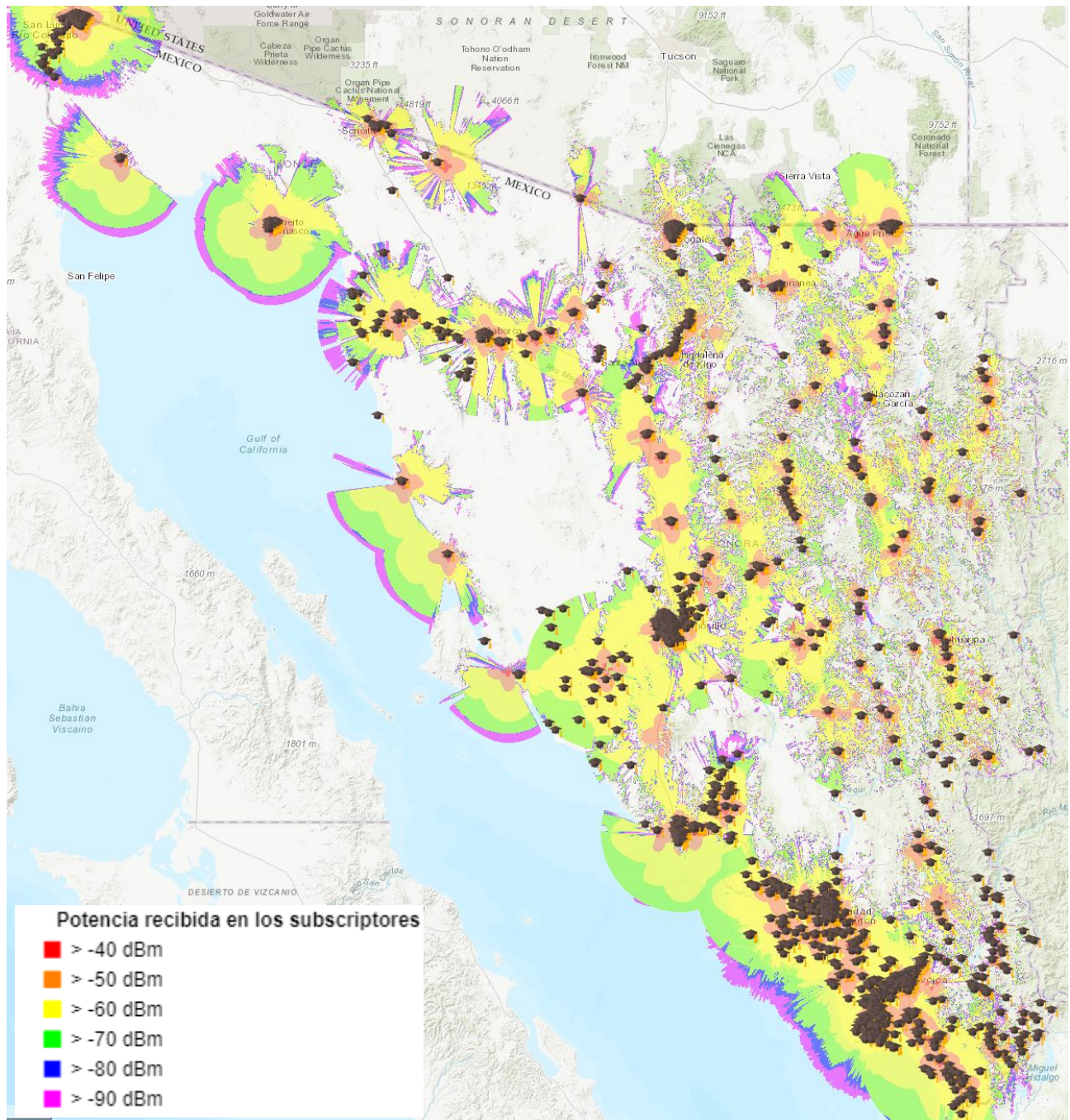


Figura 36. Cobertura para las escuelas del estado

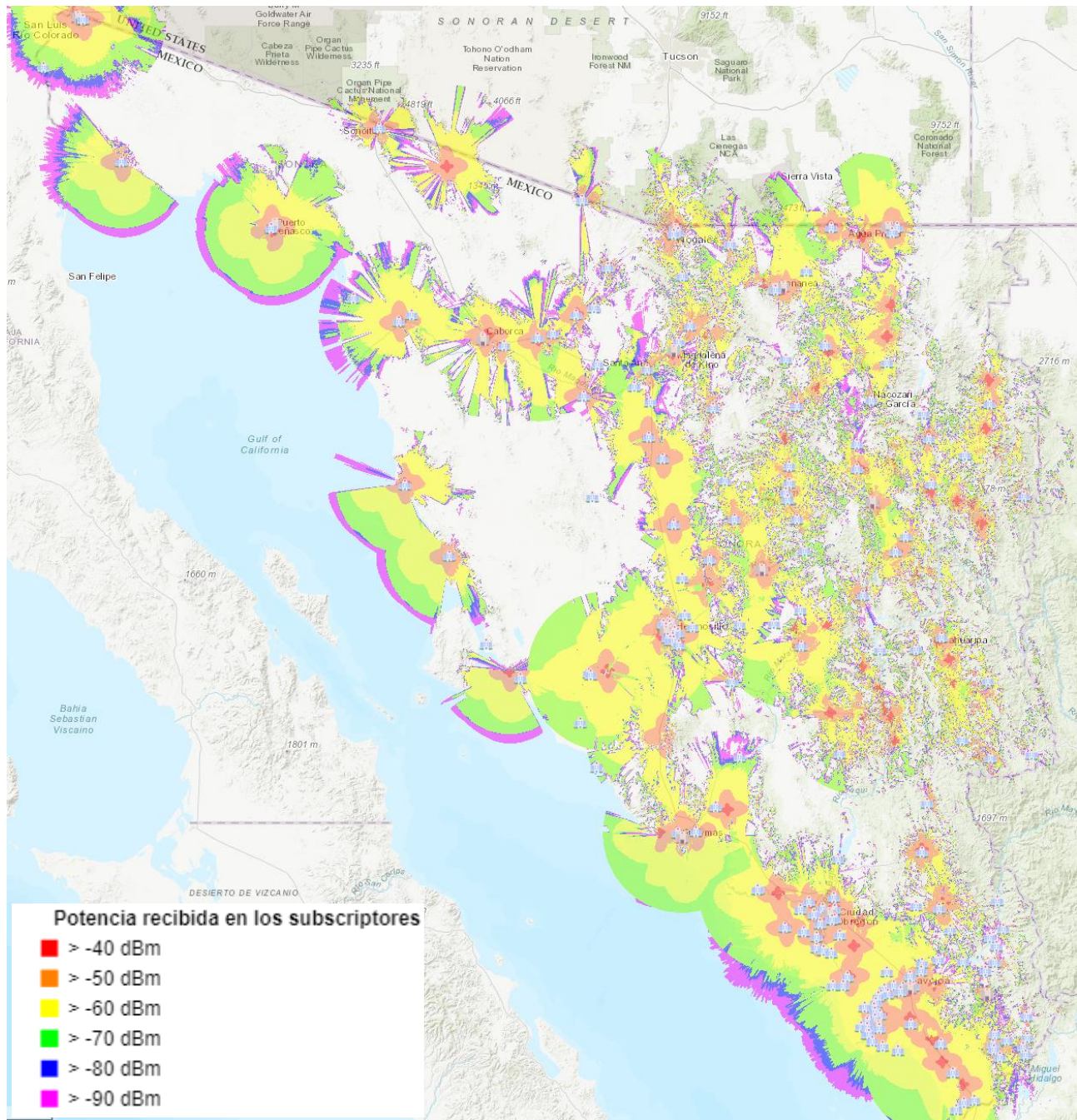


Figura 37. Cobertura para las clínicas y hospitales

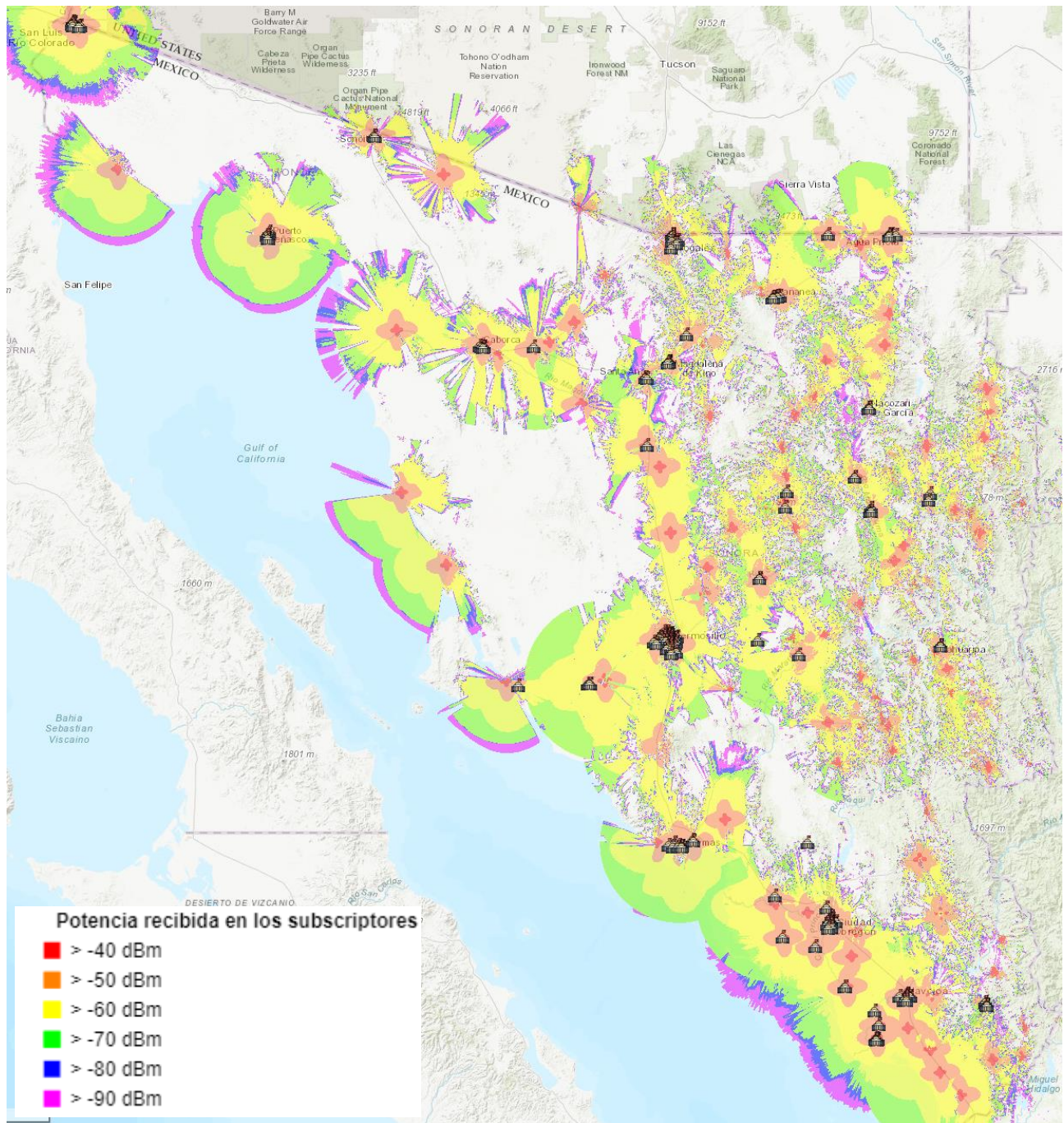


Figura 38. Cobertura para las dependencias del gobierno



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

IPN-SONORA

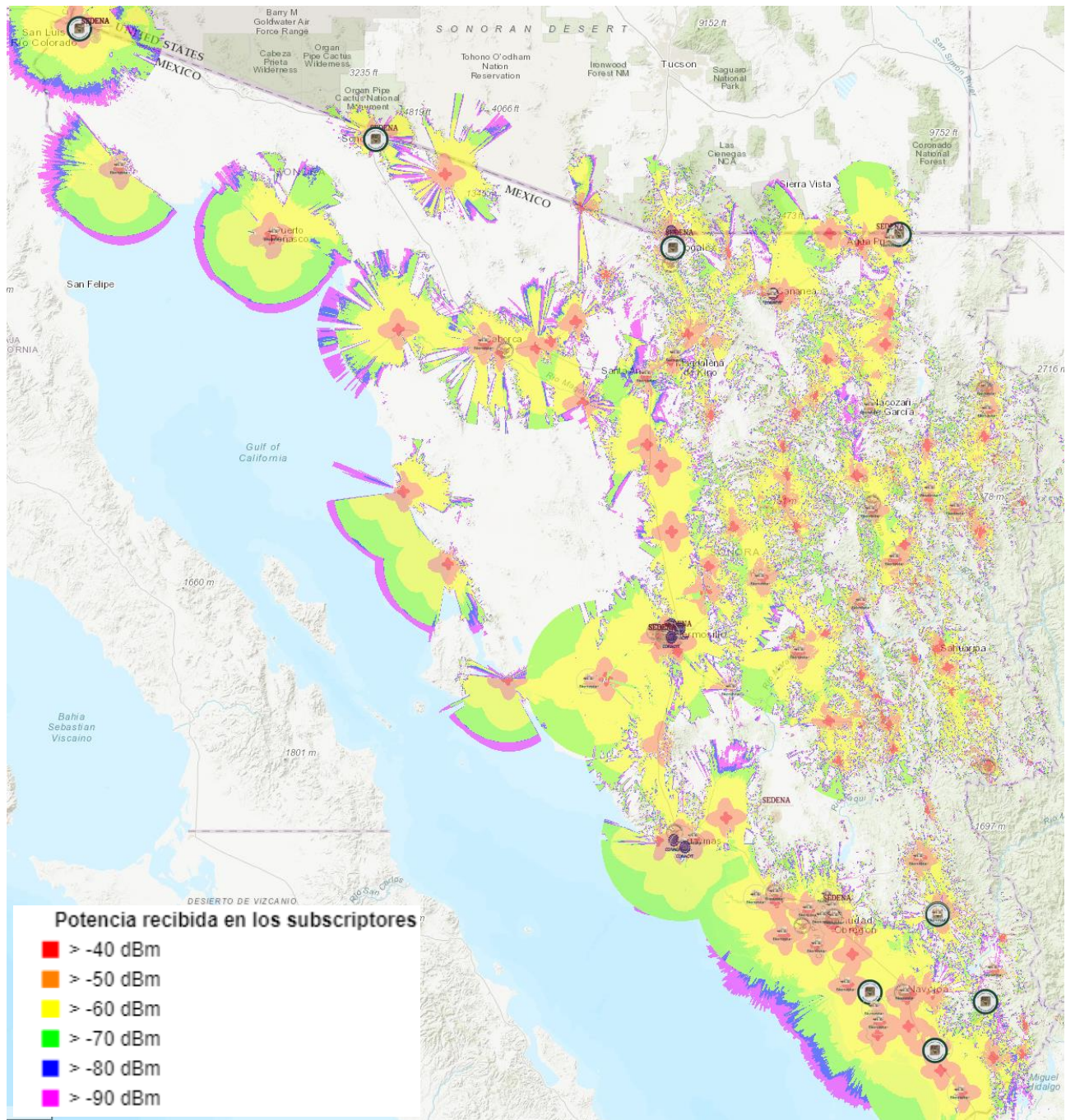


Figura 39. Cobertura para el Banco del Bienestar, CONAHCYT, Guardia Nacional, SEDENA y Universidad para el Bienestar Benito Juárez García



## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones:

El diseño de la red troncal del Estado de Sonora tiene como objetivo interconectar los 72 municipios del estado, con la finalidad de brindar el servicio de internet en todos ellos. El diseño de la red incluyó un diagnóstico de las condiciones actuales de las comunicaciones y la identificación de las necesidades de los municipios y las dependencias del Estado de Sonora.

La información necesaria para la realización del diagnóstico se obtuvo a partir de las encuestas realizadas a las dependencias del estado, así como de reuniones continuas para aclarar la información proporcionada. Para el cálculo de las necesidades de conectividad, se obtuvieron datos de la información proporcionada por las dependencias del estado y de diversas fuentes como CFE, UIT, INEGI, entre otros.

Después de un análisis detallado de la población objetivo y de la demanda del servicio descrito en la sección 2.2 de este documento, se propone y se describe un diseño de red primaria en donde convergen la red de fibra óptica de CFE y 66 enlaces PtP de microondas para poder cumplir con el objetivo de proporcionar internet en todos los municipios, incluso los más alejados de la trayectoria de la fibra óptica. Se incluyen en este informe los reportes de ingeniería de cada radio enlace en los que se describen sus características técnicas estimadas de operación como disponibilidad, tecnología, ancho de banda, antenas, potencia, etcétera.

A través del despliegue e implementación de la red troncal del estado, será posible optimizar los recursos destinados a cubrir las necesidades de comunicaciones en las dependencias y municipios del estado de Sonora. Reduciendo de esta manera los costos operativos, de despliegue y de mantenimiento de la infraestructura de comunicaciones. De igual manera, se permitirá reducir de manera significativa la brecha digital y proporcionar conectividad accesible, de bajo costo y con una buena calidad de servicio a las comunidades que aún no cuentan con este tipo de servicios.

Además, uno de los entregables de este proyecto es un mapa interactivo con toda la información proporcionada por las dependencias a través de las



encuestas y la información recolectada y generada por el equipo de trabajo, este mapa proporciona una visualización global de la infraestructura de las comunicaciones del estado, y contiene datos relevantes en cada una de sus capas interactivas, el uso de esta herramienta es clave para observar de forma más clara la situación del estado en materia de conectividad y contribuya así a la toma de decisiones en este tema.

Es importante mencionar que con este diseño se espera atender al menos a las comunidades con población superior a los 250 habitantes. Buscando además un diseño eficiente que permita de manera simultánea satisfacer las necesidades de conectividad de las poblaciones con un número de habitantes menor y en las cuales la brecha digital aún está muy marcada.

Recomendaciones:

Realizar un levantamiento técnico de la infraestructura de comunicaciones en cada uno de los sitios que serán parte de la red troncal del estado para asegurar que la información proporcionada por las dependencias esté actualizada y sea correcta.

Asegurarse de que las torres a utilizar en la red se encuentran en buen estado y con el balizamiento y el sistema de tierras adecuado, así mismo se sugiere estructurar un plan de mantenimiento de las torres de comunicaciones y la infraestructura asociada a éstas.

Asegurar el convenio con CFE TEIT para que éste proporcione el internet a través de su red de fibra óptica la cual forma parte de la red primaria de este diseño.

Una vez puesta en marcha la red troncal, es necesario establecer puntos de monitoreo de los parámetros clave de conectividad descritos en la sección 2.2.1 para asegurar un adecuado funcionamiento de la red, además de poder atender de manera eficiente los posibles fallos que se presenten de forma inmediata.

En el caso de las comunidades de difícil acceso y con una brecha digital marcada, será necesario implementar otros medios de comunicación como enlaces satelitales, buscando ejercer de manera efectiva los recursos disponibles para satisfacer sus necesidades de comunicación.