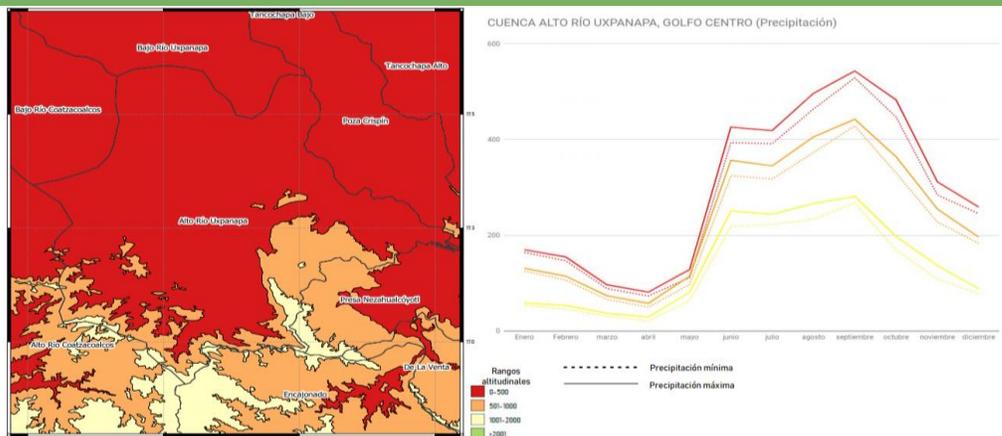


ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE CONSULTA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO

Informe Final

2018

ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

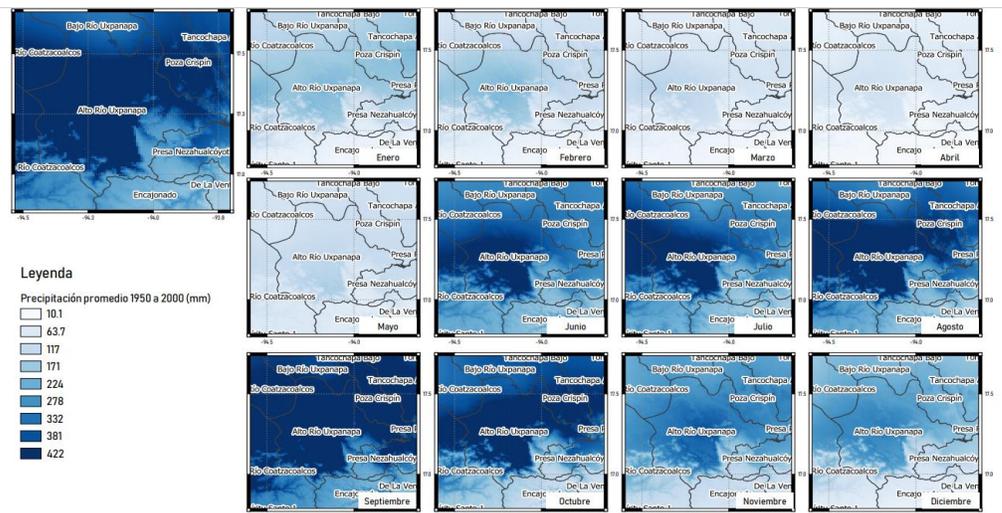


Preparado por:
Geó. Juan José Del Toro Madruño

Elaborado para:
Coordinación General de Adaptación
al Cambio Climático

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines 4209, 2° piso. Col.
Jardines en la Montaña, Del. Tlalpan C.p. 4210
Ciudad de México Tel. +52 (55) 54246400.

www.inecc.gob.mx



Índice

Entrega del plan de trabajo.....	3
Recopilación e integración de la información cartográfica.....	4
Procesamiento y análisis de la información cartográfica para la actualización de la caracterización de las cuencas	7
Procesamiento y análisis de la información cartográfica para la generación de la estadística de la climatología base y los 4 modelos de escenarios de cambio climático a nivel cuencas	14
Resultados	28
Bibliografía.....	29

A continuación, se describen las actividades realizadas en esta consultoría realizada del 25 de julio al 23 de noviembre de 2018 en el marco del proyecto "Actualización de la información del sistema de consulta de las cuencas hidrográficas de México" con número de contrato INECC/ADE-013/2018 .

Entrega del plan de trabajo

Se entregó dentro de los diez días hábiles contados a partir de la fecha de contratación, un plan de trabajo con todas las acciones, actividades responsables, tiempos y productos a desarrollar durante el proyecto; este plan fue la guía para la realización de la consultoría, los cambios y adecuaciones que existieron todas y cada una fueron acordadas con personal del INECC y siempre en aras de mejorar los resultados de la consultoría, estos cambios y adecuaciones y se describen más adelante según el componente en donde se acordaron, el plan de trabajo inicial fue el siguiente:

Actividad	Fecha de término	Responsable	Adecuación
Analizar y revisar toda la información cartográfica entregada por el INECC	31 de agosto 2018	Geóg. Juan José Del Toro Madrueño	Acorde al plan de trabajo original
Integrar y evaluar la base cartográfica que se utilizará en el proceso de caracterización de cuencas, con, por lo menos, la siguiente información: -Municipios de esa cuenca - %de municipios en esa cuenca. -Disponibilidad de agua -Estatus de los acuíferos -Red de ríos (extensión de la red en la cuenca) -Población total de la cuenca y densidad de la cuenca -Red de carreteras-densidad de carreteras -Áreas naturales protegidas federales en la cuenca -Ordenamiento ecológico, instrumentos de planeación.	28 de septiembre 2018	Geóg. Juan José Del Toro Madrueño	Se recopiló e integró una cantidad mayor de información a la establecida en el plan de trabajo, más adelante se detalla el acervo cartográfico que se entrega como parte de esta consultoría
Establecer de manera conjunta con el	31 de	Geóg. Juan José Del	Acorde al plan de

INECC el marco de cuencas para la realización del estudio que vaya acorde a la escala	agosto 2018	Toro Madrueño	trabajo original
proponer y validar con el INECC la estructura de la base de datos resultante tanto de la caracterización de las cuencas, así como de los escenarios de cambio climático	14 de septiembre 2018	Geóg. Juan José Del Toro Madrueño	Acorde al plan de trabajo original más la información complementaria y la inclusión de los rangos altitudinales
Correr los geoprocesos y procedimientos para integrar la caracterización de las cuencas, así como de los escenarios de cambio climático	31 de octubre de 2018	Geóg. Juan José Del Toro Madrueño	Acorde al plan de trabajo original
Integrar una gran base de datos cartográfica con la información actualizada de la caracterización de las cuencas, así como de los escenarios de cambio climático por cuenca y rango altitudinal	9 de noviembre 2018	Geóg. Juan José Del Toro Madrueño	Acorde al plan de trabajo original más la información complementaria
Desarrollar la herramienta tecnológica basada en software libre que facilite la consulta de esta información	16 de noviembre 2018	Geóg. Juan José Del Toro Madrueño	Acorde al plan de trabajo original
Capacitar al personal que designe el INECC en el uso de la herramienta y las metodologías utilizadas en este estudio	20 de noviembre 2018	Geóg. Juan José Del Toro Madrueño	Acorde al plan de trabajo original

Recopilación e integración de la información cartográfica

Se recibió información por parte de INECC correspondiente a la etapa anterior la cual consta de cartografía de la publicación “LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO DIAGNÓSTICO Y PRIORIZACIÓN” con 8 capas base y 32 análisis temáticos, se recibió también la información sobre climatología base para el periodo de 1950 – 2000 a fin de generar la estadística para las variables climáticas de temperatura mínima, media y máxima, así como de precipitación, de la misma manera se recibió la información de los escenarios de cambio climático avalados por el INECC para las variables temperatura mínima, media y máxima, así como de precipitación correspondientes a los modelos CNRMC-M5 RCP 8.5 del *Centre National de Recherches Météorologiques* de Francia, GFDL-CM3 RCP 8.5 del *Geophysical Fluid*

Dynamics Laboratory de Estados Unidos de América, HADGEM2-ES RCP 8.5 del *Met Office Hadley Centre for Climate Science and Services* del Reino Unido y MPI-ESM-LR RCP 8.5 de la *Max-Planck-Gesellschaft* de Alemania.

El total de la información entregada por el INECC asciende a los 36 GB, esta información se actualizó y complementó para la caracterización de las cuencas y en el caso de la información de la climatología base y los escenarios de cambio climático se realizó la estadística por cuenca.

De manera complementaria a la información ya existente, se recopiló una gran cantidad de cartografía que es relevante para el análisis de las cuencas hidrográficas y las cuencas hidrológicas; la información complementaria asciende a los 38.4 GB de información y está almacenada en estándares abiertos que permiten la interoperabilidad con otras áreas del INECC o con cualquier otra dependencia que el INECC determine.

La información recopilada consta de 74.4 GB de información, y se ordenó en la siguiente estructura:

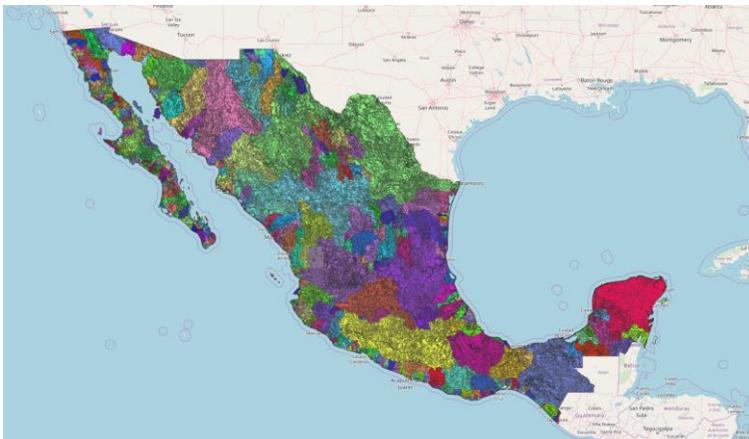
Tema	Cartografía contenida
1. Base	Escenas de imágenes Landsat 7 y 8 del año 2014 con pixel de 30 m. de resolución en bandas multiespectrales
2. Fisiografía	Capas de información que describen la geografía física, temas como edafología, geología, fisiografía, hidrografía, pendientes, etc.
3. Ambiental	Capas de información sobre áreas naturales, protegidas, programas de ordenamientos territoriales, servicios ambientales e incendios forestales.
4. Socioeconómica	Capas de información sobre distritos de riego, uso de suelo y vegetación, ejidos y propiedad social de la tierra, división política

		y principales vías de comunicación
5. Cuencas		Capas de información sobre las distintas versiones y divisiones de cuencas que existen en México
6. Climatología base		Capas de información sobre climatología base para el periodo de 1950 – 2000 para las variables climáticas de temperatura mínima, media y máxima, así como de precipitación
7. Escenarios de cambio climático		Información de los escenarios de cambio climático avalados por el INECC para las variables temperatura mínima, media y máxima, así como de precipitación correspondientes a los modelos CNRMC-M5 RCP 8.5 del <i>Centre National de Recherches Météorologiques</i> de Francia, GFDL-CM3 RCP 8.5 del <i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory</i> de Estados Unidos de América, HADGEM2-ES RCP 8.5 del <i>Met Office Hadley Centre for Climate Science and Services</i> del Reino Unido y MPI-ESM-LR RCP 8.5 de la <i>Max-Planck-Gesellschaft</i> de Alemania.
8. Diagnóstico anterior	Cuencas	El acervo cartográfico de la publicación “LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO DIAGNÓSTICO Y PRIORIZACIÓN” con 8 capas base y 32 análisis temáticos

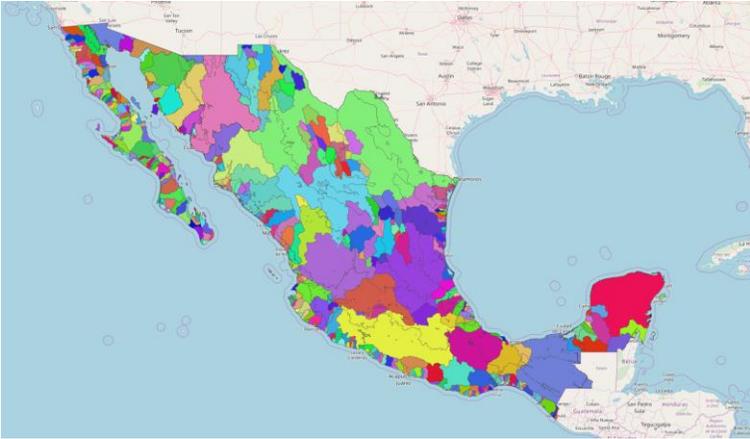
Procesamiento y análisis de la información cartográfica para la actualización de la caracterización de las cuencas

La información integrada se procesó de tal manera que se puedan generar análisis y estadística a nivel de cuenca, esta reestructuración de la información permitió actualizar la caracterización de las cuencas y complementar la información con nueva cartografía que no se consideró en los trabajos previos.

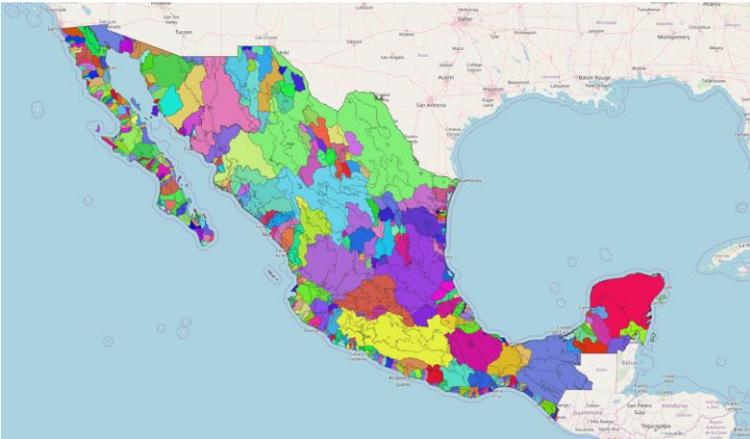
El procesamiento consistió en aplicar distintos algoritmos geomáticos para que la información integrada para este proyecto pudiera analizarse y generar estadística a nivel de cuenca, el INECC determinó que para la actualización de la caracterización de la información se utilizara la versión de cuencas regionalizadas para su consistencia con el estudio anterior; así pues se procedió a aplicar el geoproceto de intersecar las capas integradas contra la capa de cuencas regionalizadas, posteriormente se actualizaron superficies y longitudes de las geometrías y se realizaron los procesos de unión de atributos por localización a fin de actualizar alguna capa con información de otra en una relación espacial, a continuación se muestran las capas de información intersecadas con la capa de cuencas regionalizadas:



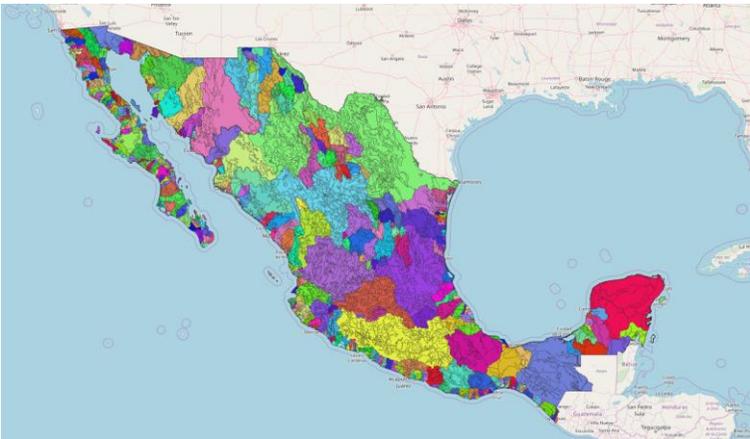
Edafología



Provincias fisiográficas



Subprovincias fisiográficas



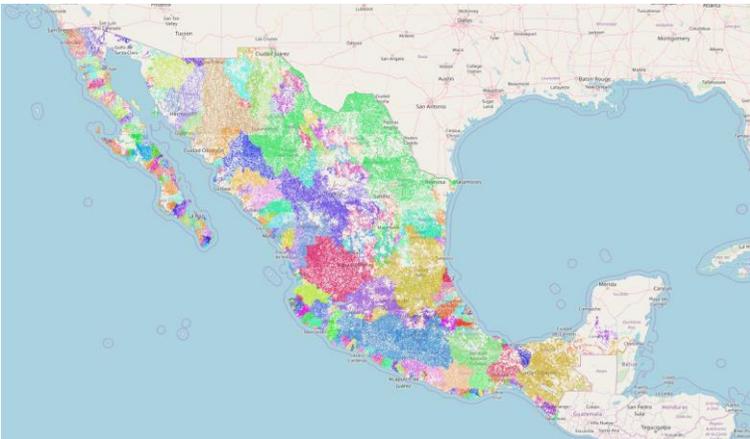
Sistema de toposformas



Geología



Fallas y fractura geológicas



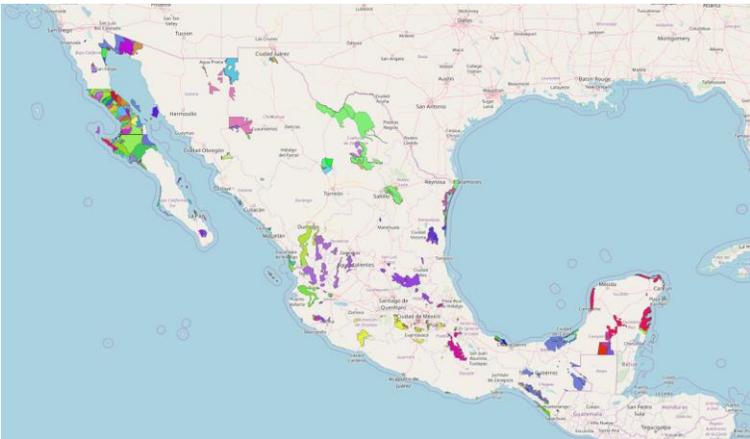
**Corrientes de agua
superficiales**



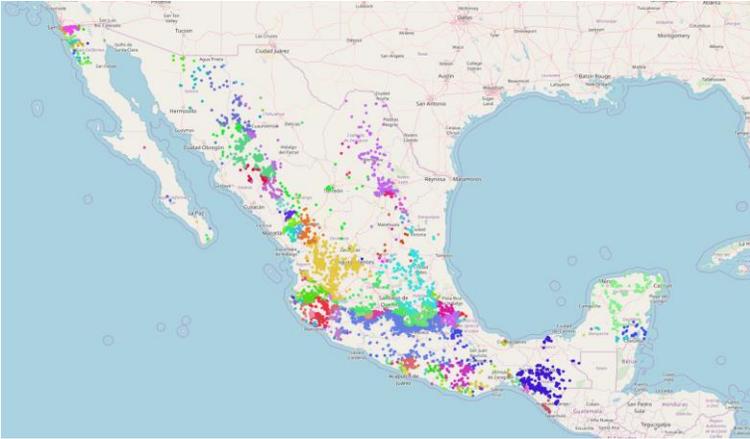
Cuerpos de agua



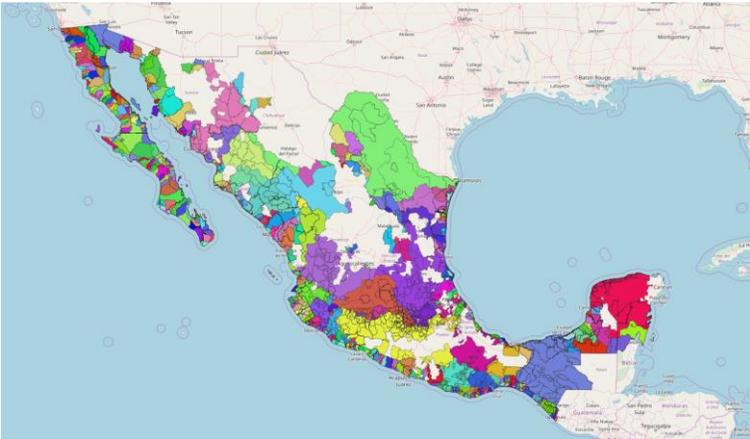
Pendientes



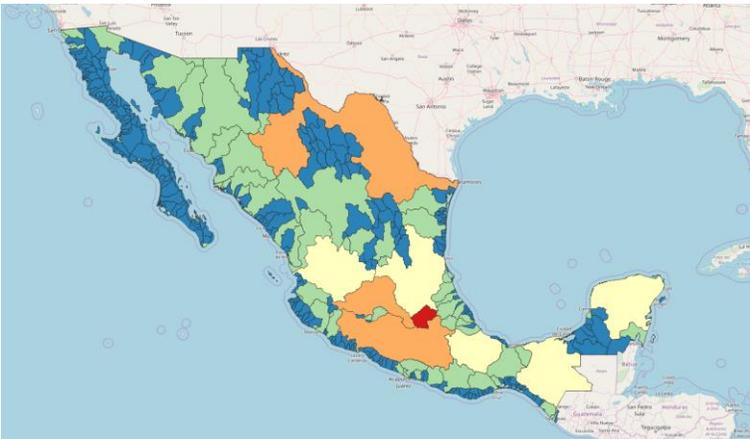
Áreas naturales protegidas



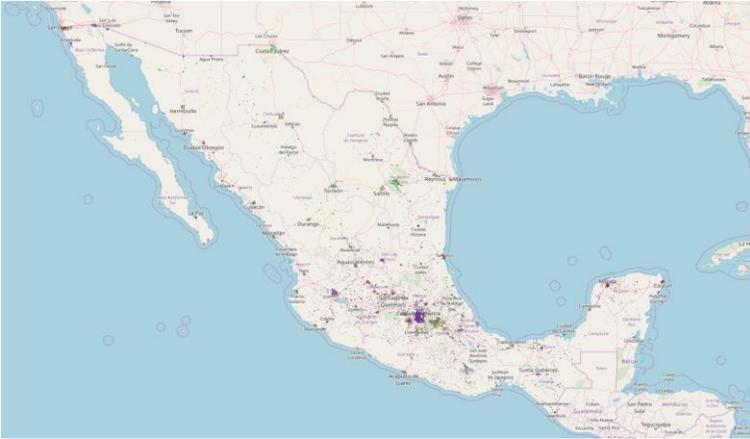
Incendios forestales



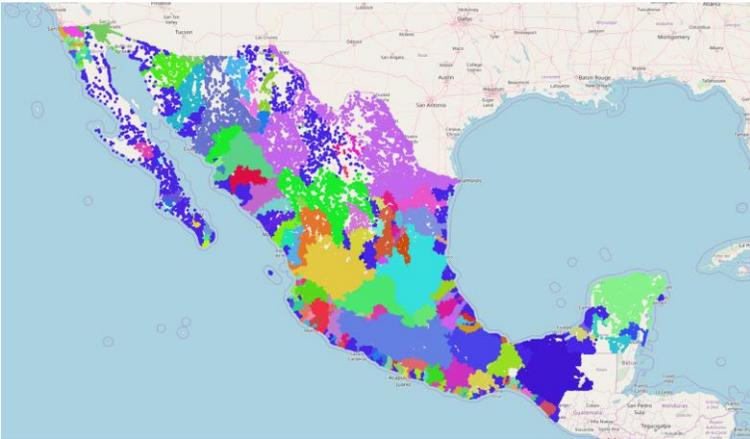
Programa de ordenamiento territorial



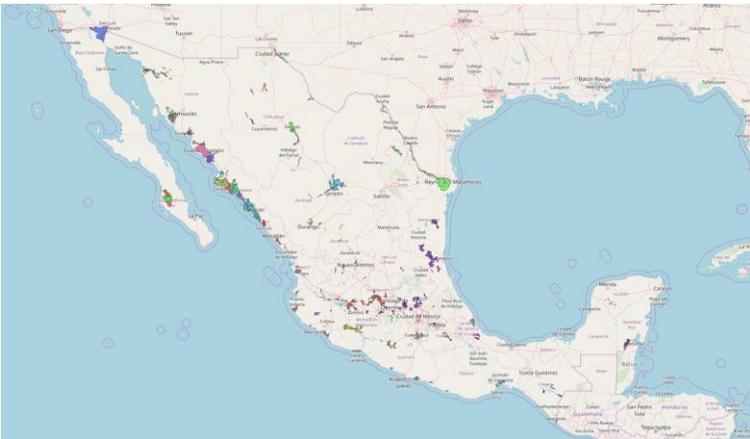
Demografía



Urbanización



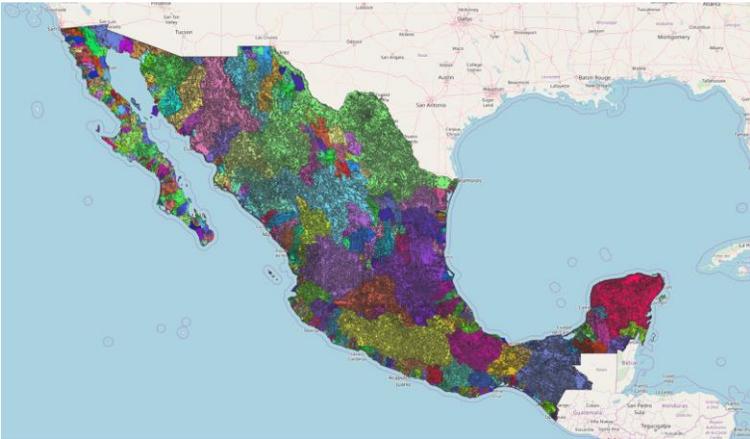
Población rural y urbana



Distritos de riego



Tenencia de la tierra



**Uso de suelo y vegetación
serie VI INEGI**



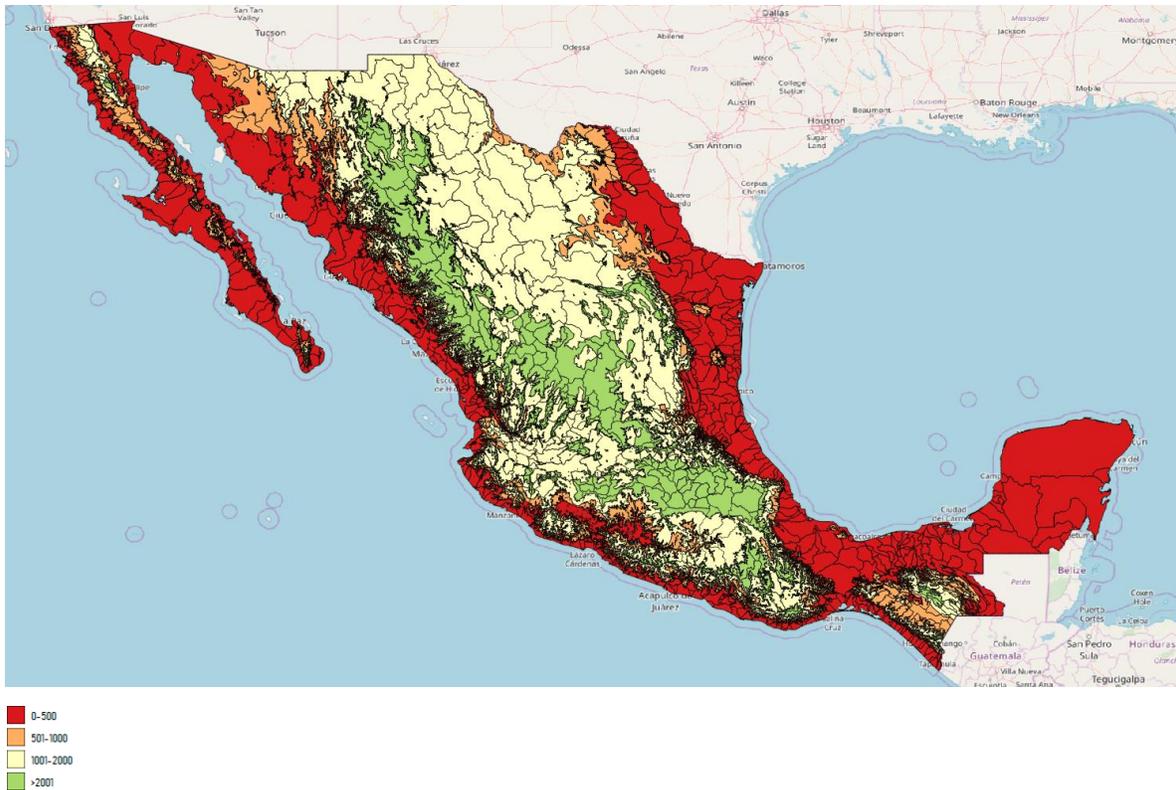
Carreteras



Terracerías

Procesamiento y análisis de la información cartográfica para la generación de la estadística de la climatología base y los 4 modelos de escenarios de cambio climático a nivel cuencas

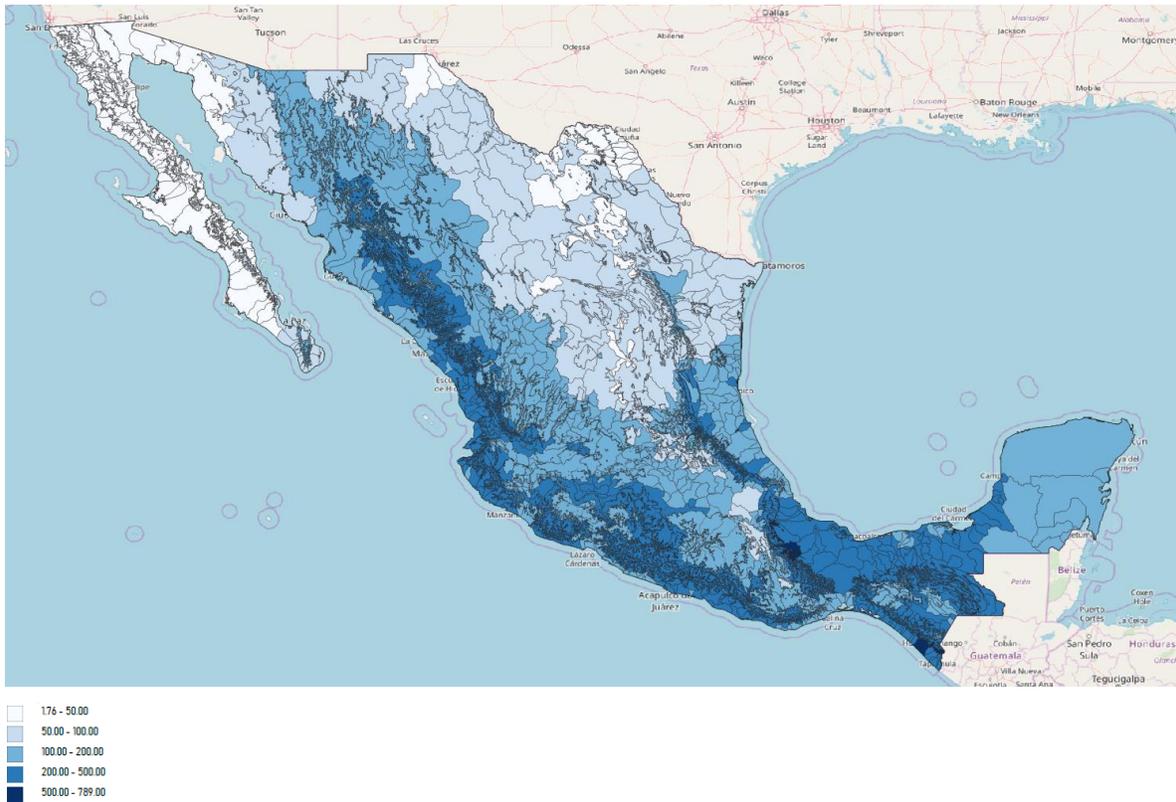
A fin de generar estadística a nivel cuenca tanto de la climatología base como de los 4 modelos de escenarios de cambio climático avalados por el INECC, se estableció un marco de referencia de cuencas el cual consiste en la versión de cuencas del Atlas Nacional de Variabilidad Climática intersecado con rangos altitudinales de 0 a 500, 501 a 1,000, 1,001 a 2,000 y mayores a 2,001 metros sobre el nivel medio del mar, esta capa sintética proporciona un marco de cuencas con rangos altitudinales como se muestra a continuación:



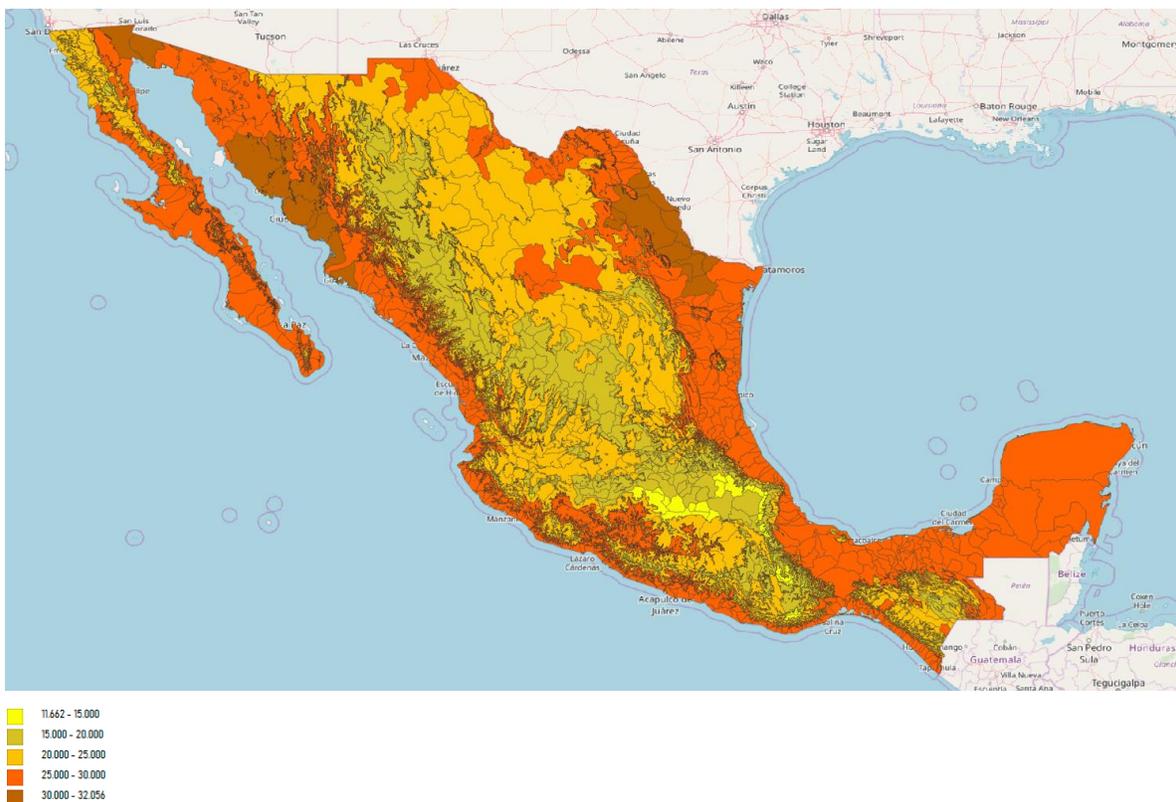
Con este marco definido se procesó para su consulta y análisis a nivel de cuenca la información estadística de la climatología base para el periodo de 1950 – 2000 a fin de generar la estadística para las variables climáticas de temperatura mínima, media y máxima, así como de precipitación, esta estadística se realizó con el geoproceso estadística zonal con el software de Sistema de Información Geográfica QGIS versión 2.18.

A continuación, se muestra la estadística para el mes de agosto de las variables de climatología base

Precipitación media 1950 – 2000 en milímetros para el mes de agosto



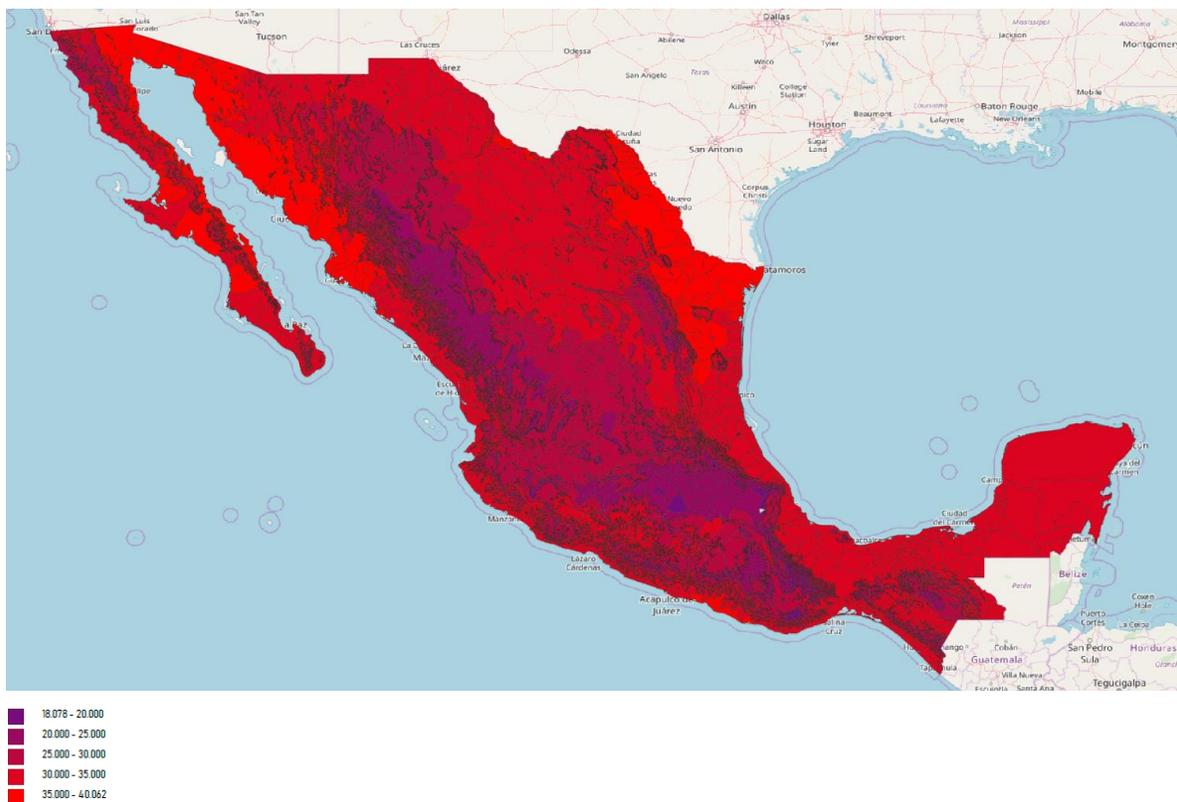
Temperatura media 1950 – 2000 en grados centígrados para el mes de agosto



Temperatura mínima 1950 – 2000 en grados centígrados para el mes de agosto



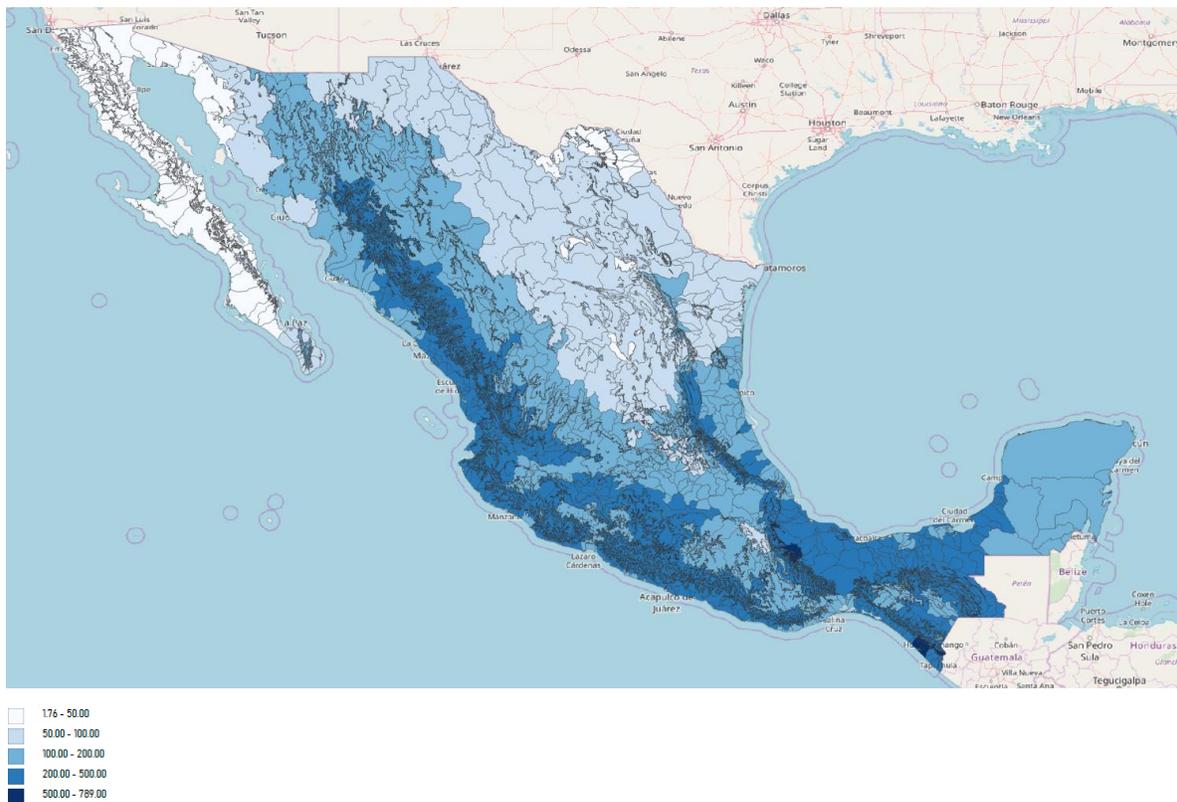
Temperatura máxima 1950 – 2000 en grados centígrados para el mes de agosto



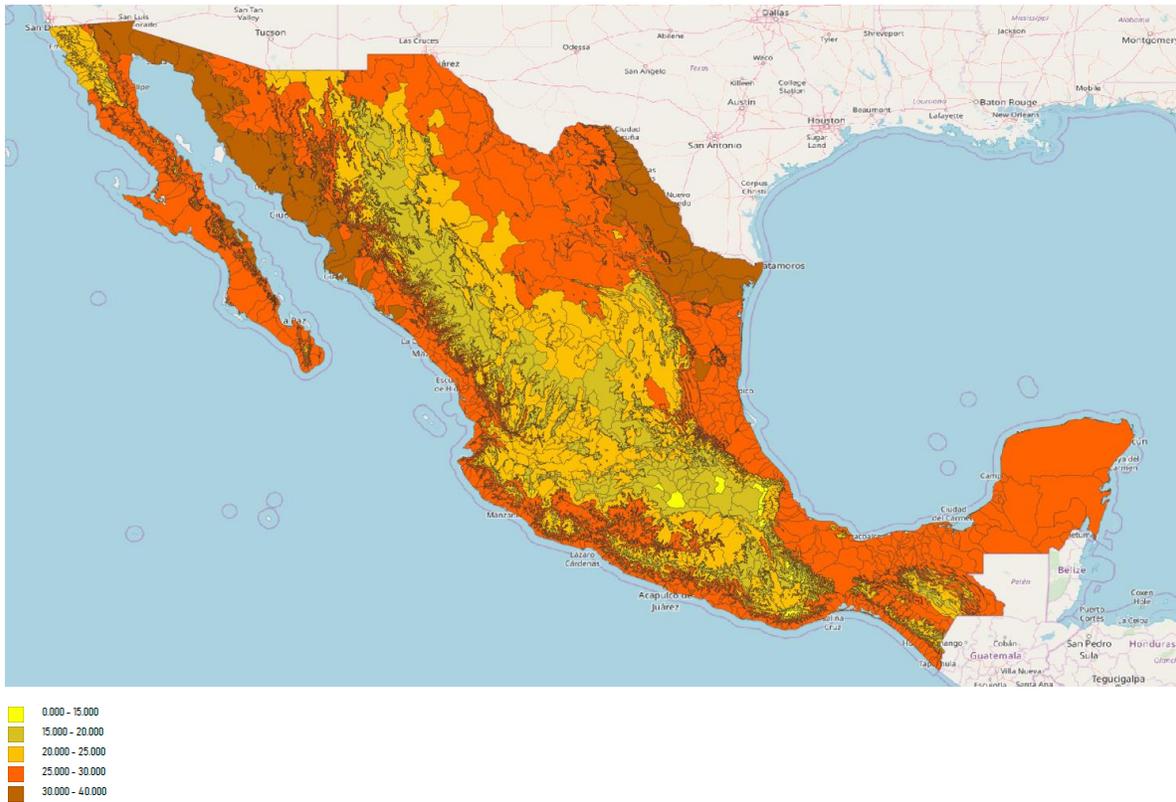
De la misma manera se procesaron para consulta y análisis la información de los escenarios de cambio climático avalados por el INECC para las variables temperatura mínima, media y máxima, así como de precipitación correspondientes a los siguientes modelos para el mes de agosto:

CNRMC-M5 RCP 8.5 del *Centre National de Recherches Météorologiques* de Francia

Precipitación media en milímetros para el mes de agosto

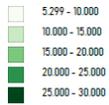


Temperatura media en grados centígrados para el mes de agosto

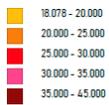
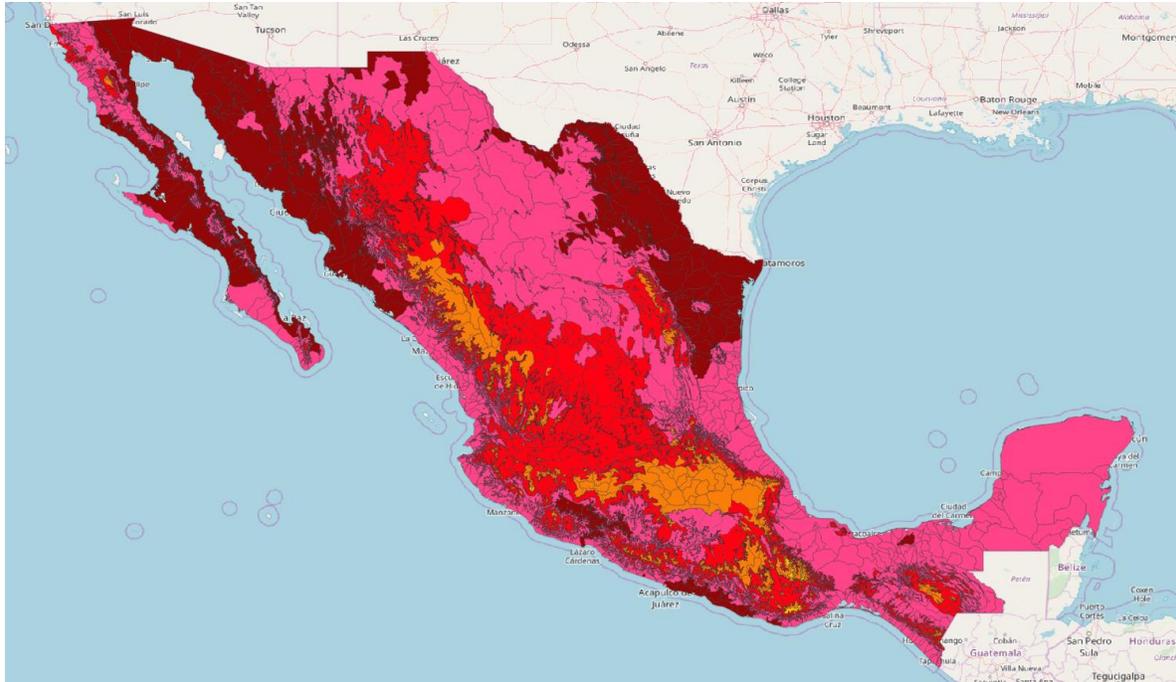


Temperatura mínima en grados centígrados para el mes de agosto



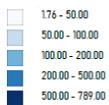
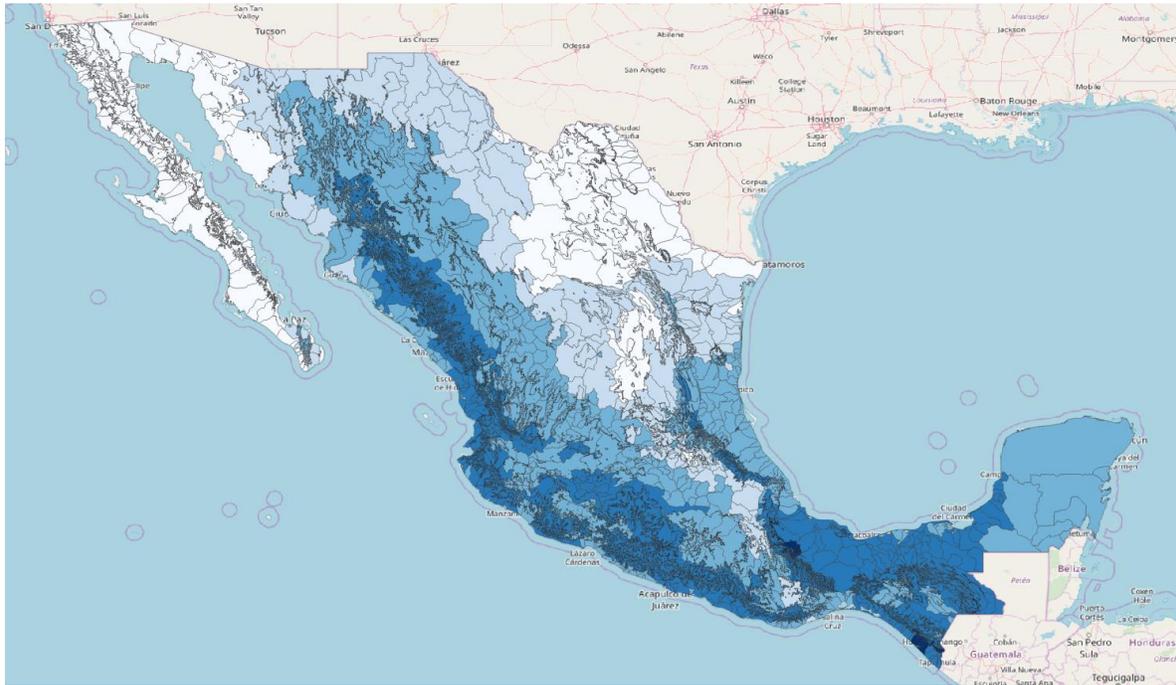


Temperatura máxima en grados centígrados para el mes de agosto



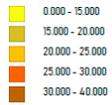
GFDL-CM3 RCP 8.5 del *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* de Estados Unidos

Precipitación media en milímetros para el mes de agosto

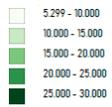


Temperatura media en grados centígrados para el mes de agosto

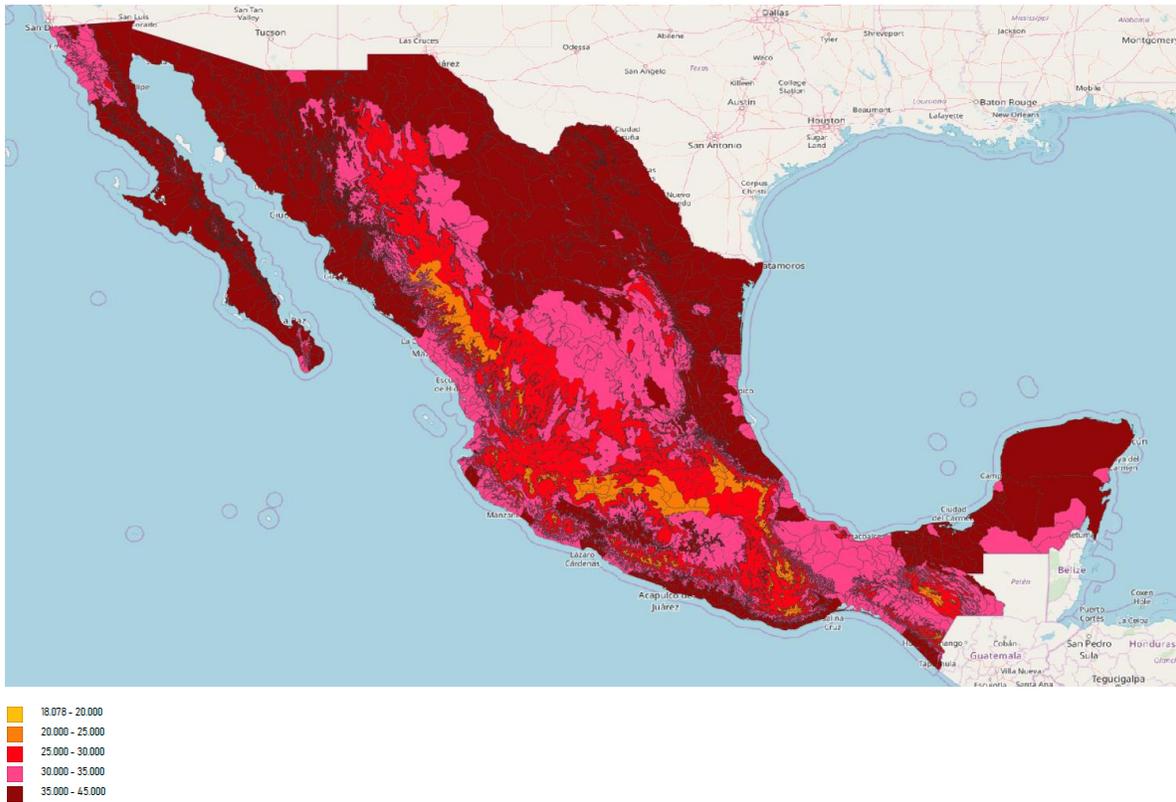




Temperatura mínima en grados centígrados para el mes de agosto

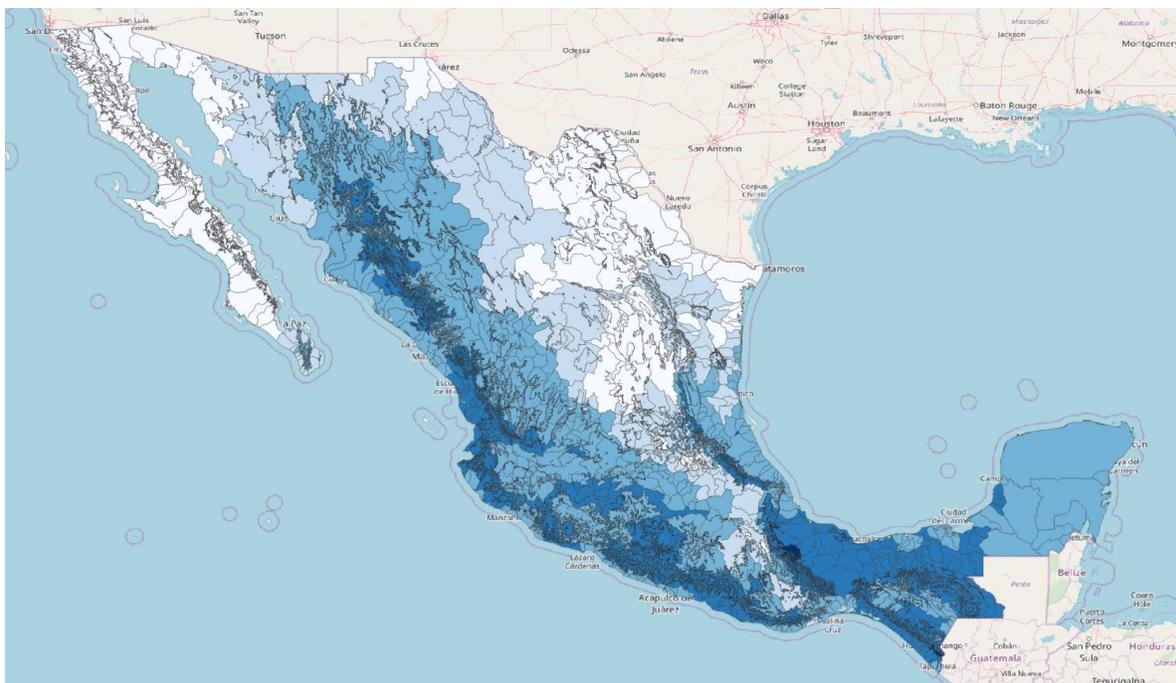


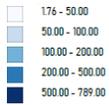
Temperatura máxima en grados centígrados para el mes de agosto



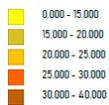
HADGEM2-ES RCP 8.5 del Met Office Hadley Centre del Reino Unido

Precipitación media en milímetros para el mes de agosto





Temperatura media en grados centígrados para el mes de agosto

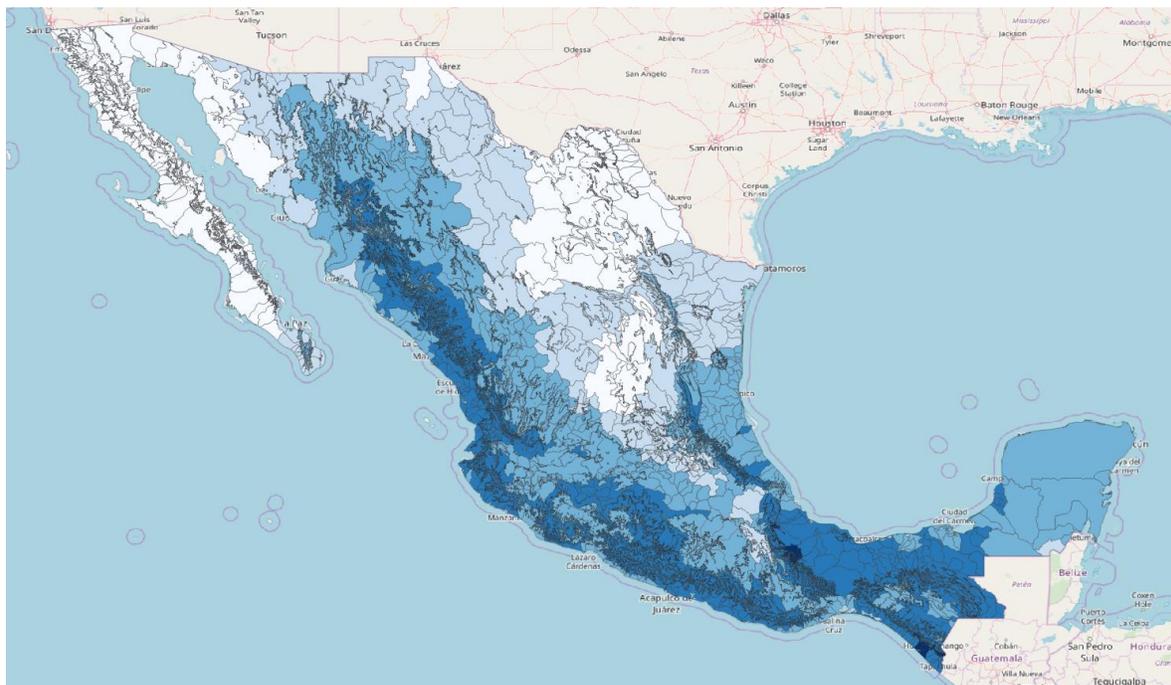


Temperatura mínima en grados centígrados para el mes de agosto



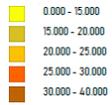
MPI-ESM-LR RCP 8.5 de la *Max-Planck-Gesellschaft de Alemania*

Precipitación media en milímetros para el mes de agosto

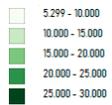


Temperatura media en grados centígrados para el mes de agosto

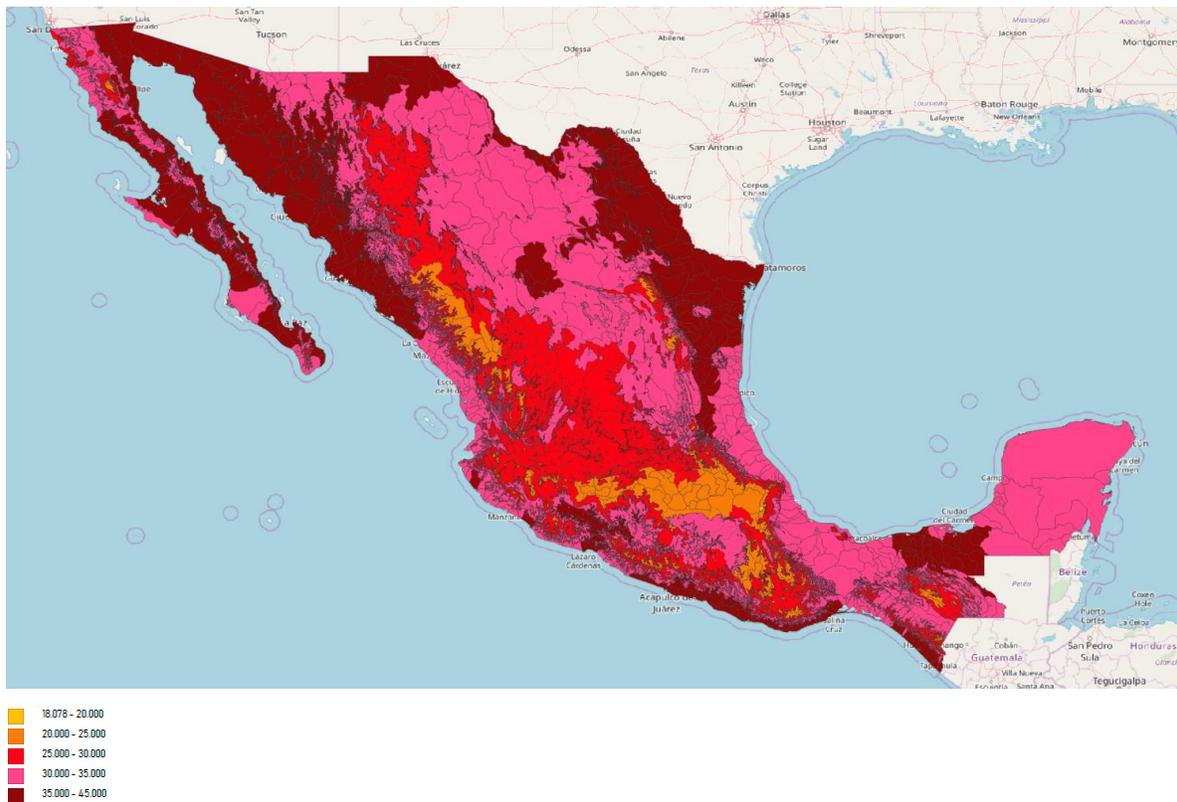




Temperatura mínima en grados centígrados para el mes de agosto



Temperatura máxima en grados centígrados para el mes de agosto



Resultados

En estas memorias se muestran los trabajos realizados en términos de la modelación, reestructuración y configuración de la representación o visualización de la información, así como el análisis y procesamiento de la misma; estos trabajos derivaron en un gran cúmulo de datos que organizados en una base de datos cartográfica permite al INECC realizar análisis y modelados complejos; esta información está almacenada en estándares abiertos permitiendo su interoperabilidad con otros sistemas o simplemente su descarga según lo determine el INECC.

La representación o visualización de esta información representa un reto grande dada su complejidad y cantidad; es por ello que para esta consultoría se optó por desarrollar una aplicación que permita la consulta y visualización de la información actualizada del sistema de consulta de las cuencas hidrográficas de México motivo de este contrato; esta aplicación permite que de manera sencilla un usuario pueda consultar información actualizada a nivel

cuenca sobre la caracterización de las mismas así como información sobre los escenarios de cambio climático avalados por el INECC para México, la aplicación se apoya en cartografía temática, tablas, gráficas y texto al igual que el documento “LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO DIAGNÓSTICO Y PRIORIZACIÓN” previamente elaborado y que ahora cuenta con notas sobre datos actualizados.

La aplicación permite también a los usuarios registrarse y ubicar estudios, iniciativas o trabajos relacionados al manejo de cuencas para que otros usuarios conozcan las actividades que se realizan en las distintas cuencas del país, esta funcionalidad de una red social sobre cuencas permitirá tener un flujo de información entre el INECC y los usuarios y pasar de un sitio de consulta a un espacio colaborativo en el tema de gestión integral de cuencas.

La aplicación está completamente desarrollada utilizando software libre por lo cual se libera al INECC de costos futuros de licenciamiento, la infraestructura de servidores utilizada es la misma que en la versión anterior simplemente se actualizaron componentes a fin de tener mayor seguridad y utilizar las versiones más actuales y con mejor respuesta.

Bibliografía

- Cotler H. (2004). (Compiladora). *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*, INE-SEMARNAT, Pp 267.
- Cotler H., M. Mazari Hiriart, de Anda J. (2009) (Comps). *Atlas de la cuenca Lerma-Chapala: construyendo una visión conjunta*. INE-UNAM, pp. 196.
- Cotler H. (2010). (Coord). *Las cuencas hidrográficas: diagnóstico y priorización*, Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., México, 232p
- Davenport, T. E. (2003). *Watershed Management Project Management Guide* Lewis Publishers, EUA, 296p.

- INEGI-INE-CONAGUA, 2007. **Mapa de cuencas hídricas de México** (escala 1: 250 000). Obra derivada del mapa "Cuencas Hídricas de México, escala 1:250,000". INE 2003, autores Priego A.G., Isunza E., Luna N. y Pérez J.L.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2013). **Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40** Gobierno de la República. 60 pp. Disponible en: www.inecc.gob.mx/

Informe Final del Contrato para el Estudio: "Actualización de la información del sistema de consulta de las cuencas hidrográficas de México"

Contrato No. INECC/ADE-013/2018

**Documento con los resultados de la revisión y/o
validación de la representación o visualización de la
información a satisfacción del INECC**

**Periodo comprendido del
25 de julio al 23 de noviembre 2018**

Presentado para:



Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático

Elaborado por:

Geóg. Juan José Del Toro Madrueño

Noviembre 23 2018

Índice

Revisión de las representaciones de información del sistema de consulta de las cuencas hidrográficas de México	3
Arquitectura de la aplicación	5
Resultados	6

A continuación, se describen los resultados de la revisión y/o validación de la representación o visualización de la información en esta consultoría realizada del 25 de julio al 23 de noviembre de 2018 en el marco del proyecto "Actualización de la información del sistema de consulta de las cuencas hidrográficas de México" con número de contrato INECC/ADE-013/2018.

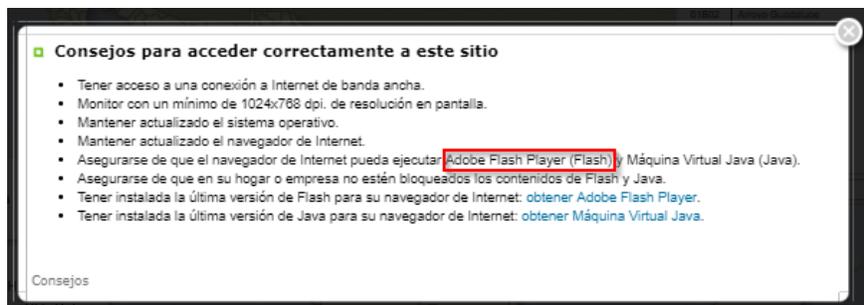
Revisión de las representaciones de información del sistema de consulta de las cuencas hidrográficas de México

Se realizó una revisión al sistema de consulta de las cuencas hidrográficas de México que actualmente opera en los servidores del INECC (<https://micrositios.inecc.gob.mx/cuenca/>) y cuya actualización de la información ahí contenida es motivo de este contrato.



Actualizar la información de consulta en el sistema actual representa un esfuerzo innecesario debido a la tecnología con que fue desarrollado ya está en desuso,

componentes como *Flash* dejaron de utilizarse hace algunos años y aun cuando todavía existen sitios utilizando esta tecnología, como es el sistema para la consulta de la red hidrográfica de INEGI SIATL, este tiene tiempo sin ningún tipo de actualización; posterior al tiempo en que se utilizó Flash para desarrollar aplicaciones cartográficas en la web surgieron opciones mucho más robustas y sencillas de usar como *OpenLayers* o *Leaflet*.



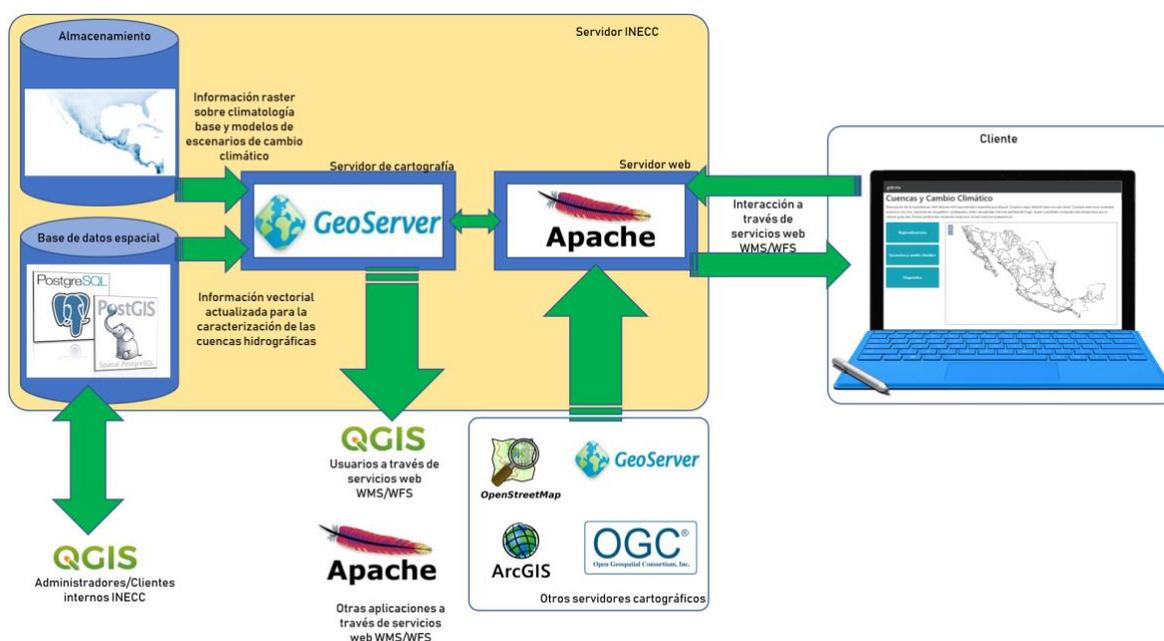
Tanto *OpenLayers* (<http://openlayers.org/>) como *Leaflet* (<https://leafletjs.com/>) son librerías abiertas y de código libre que permiten desarrollar aplicaciones cartográficas robustas en lenguajes de programación modernos y versátiles como Javascript; tienen, de origen, una orientación para trabajar a través de servicios web lo cual facilita la arquitectura de las aplicaciones.

Aunado a esta situación de la tecnología caduca, se tiene la intención de trabajar con mucha más información que en el sistema actual lo cual es prácticamente imposible, fue necesario cambiar a una arquitectura de servicios que se detalla más adelante.

Expuesto lo anterior y acordado con el personal del INECC, se optó por implementar una aplicación que permitiera al INECC publicar y analizar de manera sencilla este gran volumen de información actualizada y que además permitiera su fácil distribución apegada a estándares abiertos y, sobre todo, no requiera licencias para la consulta de resultados y representación de la información generada.

Arquitectura de la aplicación

La aplicación propuesta se compone enteramente de proyectos que son software libre, esto para no causar licenciamiento al proyecto y posteriormente al INECC, además de ser componentes tecnológicos probados y validados en términos de su funcionalidad, respuesta y confiabilidad, la arquitectura utilizada en la aplicación desarrollada es la siguiente:



La base de datos geográfica utilizada es PostgreSQL/PostGIS, se acordó con el personal del INECC la estructura y configuración de la base de datos para su mejor funcionamiento y análisis, se asignaron permisos a los diferentes perfiles de usuario de acuerdo con las reglas de seguridad establecidas para cada rol en la base de datos.

La carga de información se realizó mediante las herramientas del software que permitieron la configuración de nombres y destinos para optimizar el acceso dentro del servidor.

Se realizaron pruebas para evaluar el desempeño de la base de datos y accesibilidad a la información.

Como servidor de cartografía se eligió el software Geoserver, ya existen proyectos en INECC utilizando este servidor de mapas lo cual facilitará su administración futura, el servidor de mapas lee la información vectorial desde la base de datos geográfica PostgreSQL/PostGIS y los raster de la climatología base y los modelos de escenarios de cambio climático desde una carpeta en el servidor; se optó por no importar los raster a la base de datos geográfica para optimizar el renderizado de las imágenes.

La interacción del servidor con el mundo exterior es a través del servidor web Apache el cual recibe peticiones y las gestiona con el Geoserver el cual a su vez realiza las solicitudes a la base de datos PostgreSQL/PostGIS y a los archivos raster directamente.

El servidor apache es también donde se hospeda la aplicación y es aquí donde se enlazan otros servidores web cartográficos que alimentan la aplicación.

Para la actualización de la información es posible conectarse directamente a la base de datos geográfica PostgreSQL/PostGIS e interactuar con la cartografía, para realizar esto es necesario que el usuario además de tener ciertos roles y privilegios esté dentro de la misma red, esto para maximizar la seguridad en la información.

Para consultas especializadas desde algún software SIG como QGIS es posible conectarse a través de servicios web cartográficos como WMS o WFS y en el caso de otras aplicaciones web, están publicados una serie de servicios WMS para consultar la información.

Resultados

La arquitectura implementada y la aplicación desarrollada permite al INECC poner a disposición de la ciudadanía un sistema de consulta sobre cuencas hidrográficas que muestra la complejidad del fenómeno de cambio climático, esta versión actualizada dota al usuario la capacidad de consultar una gran cantidad de información que

simplemente en la versión anterior no era posible, la aplicación se desarrolló principalmente el lenguaje de programación Javascript aunque tiene componentes en PHP para seguridad en las conexiones a la base de datos, se utilizó el Framework de programación Laravel para un mejor control y mayor fluidez en el desarrollo.