

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**Disponibilidad Hídrica de Aguas Superficiales con Prospectiva al año 2033 de la Región Hidrológica 18 Balsas.**

POR:

**JOSÉ ARMIN PÉREZ ROBLERO**

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Agosto 2022.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

**Disponibilidad Hídrica de Aguas Superficiales con Prospectiva al año 2033 de la Región  
Hidrológica 18 Balsas.**

**POR:**

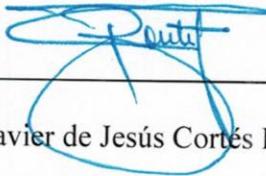
**JOSÉ ARMIN PÉREZ ROBLERO**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

**ASESOR PRINCIPAL**



Dr. Luis Samaniego Moreno

**ASESOR**



M.I. José Avidán Bravo Jácome

**ASESOR EXTERNO**



M.C. Sergio Sánchez Martínez

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México Septiembre 2022.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

**Disponibilidad Hídrica de Aguas Superficiales con Prospectiva al año 2033 de la Región  
Hidrológica 18 Balsas.**

POR:

**JOSÉ ARMIN PÉREZ ROBLERO**

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Aprobada por el H. Jurado Examinador:

Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

PRESIDENTE DE JURADO

M.I. José Avidán Bravo Jácome

VOCAL

Dr. Luis Samaniego Moreno

VOCAL

Ing. Enrique Mandujano Álvarez

VOCAL SUPLENTE



M.C. Sergio Sánchez Martínez

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México Septiembre 2022.

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios** primeramente por permitirme concluir esta maravillosa etapa, por la vida, la salud, la sabiduría e inteligencia brindadas para poder alcanzar una meta más en mi vida, por ser el pilar de mi familia y ayudarme en los momentos más difíciles, guiándome siempre por el buen camino.

**A mi “Alma Terra Mater”** la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por prepararme en mi vida profesional y haberme desarrollado como Ingeniero Agrónomo en Irrigación y por convertirse en mi segundo hogar, por la educación brindada, los conocimientos adquiridos y amistades que conocí en el transcurso de la carrera.

**A mis padres**, por el apoyo incondicional económico y emocional, por haberme inculcado buenos principios, por tener fe en mí en que lo lograría y llegaría a ser ingeniero.

**A mi abuelo**, por ser como un padre para mí, por los consejos brindados que han sido de gran ayuda en mi vida y su cariño enorme.

**A mi familia**, por el cariño y apoyo en todo momento y ser parte importante en mi vida, estando siempre en las buenas y en las malas, y por el apoyo brindado en mi crecimiento profesional.

**Al Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho**, por su apoyo durante el desarrollo de esta investigación compartiéndome su tiempo, paciencia y conocimientos durante el proyecto y en toda la trayectoria de mi carrera universitaria siendo un profesor de excelencia.

**Al Dr. Luis Samaniego Moreno**, por el apoyo durante el trayecto de mi carrera universitaria por los conocimientos brindados en todos estos años.

**Al instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)** agradezco enormemente a este prestigioso centro de investigación por abrirme sus puertas y permitirme trabajar con ellos, mi experiencia fue muy grata, para mi educación profesional académica.

**Al M.I. José Avidan Bravo Jácome**, agradecido particularmente por la ayuda brindaba en el proyecto México-China, por la paciencia y el apoyo durante el desarrollo de esta investigación, compartiéndome sus conocimientos y enseñándome a aplicarlos en este importante Proyecto.

**Al Dr. Rodrigo Roblero Hidalgo**, por ser un excelente profesor y ser parte importante en el desarrollo del proyecto México-China, brindándome la oportunidad de trabajar en esta investigación y así poder realizar mi tesis de licenciatura.

**A mis amigos**, que han sido como hermanos, por su amistad y apoyo moral en todo el transcurso de mi carrera universitaria animándome a seguir adelante en mi vida profesional.

**¡Gracias por Todo!**

## DEDICATORIAS

### Con especial dedicatoria a:

**A mis padres**, Francisca Roblero Morales y Fermin Pérez Bravo. Por darme la vida educándome y convirtiéndome en una persona de bien, integra y honesta, por los sabios consejos que me han sido de gran ayuda en cada parte de mi vida, por estar conmigo en las buenas y en las malas, siendo los mejores padres que Dios me pudo dar. ¡Los amo muchísimo!

**A mi Abuelo**, Natalio Roblero López (+), gracias por cuidar de mi desde pequeño, por todo lo que hizo por mí, por todos sus consejos y enseñanzas, nunca tendré forma de cómo pagarle, siempre te recordare hasta el momento en que volvamos a estar juntos muchas gracias por ser mi abuelo.

**A mis hermanos**, Uver Perez Roblero, Marcos Perez Roblero y Faviola Perez Roblero. Por siempre creer en mí, les agradezco por estar siempre en mi vida no sólo aportando buenas cosas, sino también por su gran apoyo en esta fuerte etapa de mi vida donde fueron más los momentos buenos que pasamos que los malos, por su amor incondicional a pesar de las circunstancias.

**A mis tíos**, Merido R. V., Teresa de Jesús G. G., Gilder Roselio R B., Adelmira P. B. Por todo el cariño y los buenos consejos de vida, gracias por todo lo que han hecho por mí, por las palabras de ánimo con tal de verme lograr esta meta.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....    | IV   |
| <b>DEDICATORIAS</b> .....       | V    |
| <b>TABLA DE CONTENIDO</b> ..... | VI   |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....  | VIII |
| <b>INDICE DE TABLAS</b> .....   | X    |
| <b>RESUMEN</b> .....            | XI   |
| <b>ABSTRACT</b> .....           | XII  |

|   |    |
|---|----|
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....  | 1  |
| <b>II. OBJETIVOS</b> .....  | 2  |
| 2.1 Objetivo General.....   | 2  |
| 2.2 Objetivos específicos.....  | 2  |
| <b>III. HIPÓTESIS</b> .....   | 2  |
| <b>IV. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....   | 3  |
| 4.1 Usos del Agua.....  | 3  |
| 4.2 Evaporación y evapotranspiración.....   | 4  |
| 4.3 Balance hídrico.....  | 5  |
| 4.4 NOM 011 CONAGUA 2015.....   | 7  |
| <b>V. METODOLOGIA</b> .....   | 8  |
| 5.1 Marco Geográfico.....   | 8  |
| 5.2 Ordenamientos Superficiales; Decretos, vedas y reserva.....   | 9  |
| 5.3 Evolución de la disponibilidad hídrica superficial de la cuenca al 2020.....                                    | 10 |
| 5.4 Usos del agua.....  | 12 |
| 5.5 Precipitación y temperaturas históricas.....  | 14 |
| 5.6 Volumen de agua por cuenca propia.....  | 16 |
| 5.7 Análisis de la disponibilidad del agua al 2033.....   | 18 |
| <b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....   | 20 |
| 6.1 Lugar de Establecimiento.....   | 20 |
| 6.2 Marco geográfico de la Rh 18 Balsas.....  | 22 |
| 6.3 Decretos, vedas y reservas, Región hidrológica Rh 18 Balsas.....  | 25 |
| 6.4 Evolución de la disponibilidad hídrica superficial de la cuenca de la región hidrológica 18 Balsas al 2020..... | 31 |
| 6.5 Usos del agua.....  | 38 |
| 6.6 Precipitación y temperaturas históricas.....  | 42 |
| 6.6.1 Precipitación y temperatura media histórica.....  | 43 |
| 6.6.2 Precipitación y temperatura al 2033.....  | 47 |
| <b>VII. RESULTADOS</b> .....  | 52 |
| 7.1 Estimación del volumen de agua por cuenca propia para dos escenarios.....                                       | 52 |
| 7.2 Análisis de la disponibilidad del agua al 2033.....   | 53 |
| 7.3 Disponibilidad de agua superficial por escenarios.....  | 54 |
| 7.3.1 Escenario Disponibilidad de agua superficial del estudio 2020.....  | 54 |
| 7.3.2 Escenario Disponibilidad de agua superficial al 2033.....   | 54 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| <b>VIII. CONCLUSIONES</b> .....  | 60 |
| <b>IX. RECOMENDACIONES</b> ..... | 62 |
| <b>X. BIBLIOGRAFIA</b> .....     | 63 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1-1.-Localización de la Rh 18 Balsas. Fuente Diario Oficial de la Federación (DOF, 2007). .....     | 20 |
| Figura 1-2.- Localización de la Rh 18 Balsas. Fuente Diario Oficial de la Federación (DOF, 2007) .....     | 21 |
| Figura 1-3.- Región Hidrológica 18 Balsas .....  | 22 |
| Figura 1-4.- Región hidrológica 18 Balsas, Entidades Federativas .....                                     | 24 |
| Figura 2-1.- Tipos de Ordenamientos en la región Rh 18 Balsas. 2019 (SINA, 2020b) .....                    | 26 |
| Figura 3-1.-Estudios de disponibilidad para la Región hidrológica 18 Balsas en pdf.....                    | 31 |
| Figura 3-2.- Tablas en formato Excel de la Región hidrológica 18 Balsas año 2007.....                      | 32 |
| Figura 3-3.- Tablas en formato Excel de la Región hidrológica 18 Balsas año 2013.....                      | 33 |
| Figura 3-4.- Tablas en formato Excel de la Región hidrológica 18 Balsas año 2016.....                      | 34 |
| Figura 3-5.- Tablas en formato Excel de la Región hidrológica 18 Balsas año 2020.....                      | 35 |
| Figura 3-6.- Región Hidrológica 18 Balsas, Disponibilidad al 2020.....                                     | 36 |
| Figura 3-7.- Evolución de la disponibilidad al 2033, Rh 18.....  | 37 |
| Figura 4-1.-Volumen de agua por uso consuntivo al 2019.....  | 38 |
| Figura 4-2.- Porcentaje de contribución por tipo de fuente, 2019 .....                                     | 39 |
| Figura 4-3.-Comportamiento en el tiempo del uso Agrícola .....   | 39 |
| Figura 4-4.- Comportamiento en el tiempo del uso público Urbano .....                                      | 40 |
| Figura 4-5.- Comportamiento en el tiempo del uso Industrial.....   | 40 |
| Figura 4-6.- Comportamiento en el tiempo del volumen concesionado para el uso Termoeléctrico. ....         | 41 |
| Figura 4-7.- Porcentaje de cambio entre 2019 y 2033 del volumen concesionado .....                         | 41 |
| Figura 5-1.- Estaciones climatológicas seleccionadas de la Rh 18.....                                      | 43 |
| Figura 5-2.- Ejemplo del análisis de cantidad de registros para la variable precipitación de la Rh 18..... | 44 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 5-3.- Ejemplo de asignación de cuenca a cada estación climatológica para la Rh 18.             | 44 |
| Figura 5-4.- Ejemplo de obtención de la precipitación media anual por cuenca, para la Rh 18.<br>..... | 45 |
| Figura 5-5.- Precipitación media anual por cuenca, para la Rh 18. ....                                | 45 |
| Figura 5-6.- Temperatura media máxima anual por cuenca, para la Rh 18.....                            | 46 |
| Figura 5-7.- Temperatura media mínima anual por cuenca, para la Rh 18. ....                           | 46 |
| Figura 5-8.- Proyección de la precipitación al 2033, Rh 18. ....                                      | 47 |
| Figura 5-9.- Porcentaje de cambio del 2017 al 2033 para precipitación, Rh 18.....                     | 48 |
| Figura 5-10.- Precipitación Histórica 1980 al 2017, Rh 18. ....                                       | 48 |
| Figura 5-11.- Proyección de la temperatura máxima al 2033, Rh 18 .....                                | 49 |
| Figura 5-12.- Porcentaje de cambio del 2017 al 2033 para temperatura máxima, Rh 18.....               | 49 |
| Figura 5-13.- Temperatura Máxima Histórica 1980 al 2017, Rh 18. ....                                  | 50 |
| Figura 5.14.- Proyección de la temperatura mínima al 2033, Rh 18. ....                                | 50 |
| Figura 5-15.- Porcentaje de cambio del 2017 al 2033 para temperatura mínima, Rh 18. ....              | 51 |
| Figura 5-16.- Temperatura Mínima Histórica 1980 al 2017, Rh 18.....                                   | 51 |
| Figura 6-1a.- Volumen por cuenca para dos escenarios en la Rh 18.....                                 | 52 |
| Figura 6-1b.- Volumen por cuenca propia para dos escenarios en la Rh 18 .....                         | 53 |
| Figura 7-1.-Diagrama de interconexión entre cuencas de la Rh18.....                                   | 54 |
| Figura 8.1.-Disponibilidad de agua superficial en la Rh 18 Balsas para dos escenarios .....           | 55 |
| Figura 8-2.- Mapa de la Disponibilidad de agua superficial actual, estudio 2020.....                  | 58 |
| Figura 8-3.- Mapa de la Disponibilidad de agua superficial, estudio 2033. ....                        | 59 |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1-1.- Área de Cuencas, Rh 18 (SINA, 2020a) .....                                     | 23 |
| Tabla 1-2.- Ciudades principales de más de 50 mil habitantes, Rh 18 (INEGI, 2020).....     | 25 |
| Tabla 1-3.- Población por Entidad Federativa, Rh 18 (INEGI, 2020).....                     | 25 |
| Tabla 1-4.- Disponibilidad de agua superficial en la Rh18 Balsas para dos escenarios ..... | 56 |

## RESUMEN

El agua es un elemento crucial en todas las formas de vida ya que dependemos de ella para sobrevivir, siendo un factor muy importante para el desarrollo del país. Un aspecto importante a considerar es la disponibilidad de agua que se tiene y la que se tendrá en un futuro en México.

La problemática que se vive en las aguas superficiales de México, es la escasez que se ha ido agravando en las últimas décadas, esto se debe a la concentración de la población y la actividad económica, ya que es usada también para actividades humanas como la ganadería, para el riego, industrias, o hasta para generar energía hidroeléctrica con la fuerza de los cauces de los ríos. Por la contaminación de los cuerpos de agua a causa de las descargas de aguas residuales sin tratamiento, ya sea de tipo doméstico, industrial, agrícola, pecuario o minero.

El presente trabajo se derivó del estudio de la evolución de disponibilidad de las 757 cuencas que integran la República Mexicana, dentro del marco del “Proyecto conjunto de investigación México-China para la planeación y desarrollo ambiental y socialmente sustentable del sector de las pequeñas centrales hidroeléctricas” por parte del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) y en colaboración con el Instituto Mexicano del Agua (IMTA) (1986). Tiene como objetivo calcular la disponibilidad hídrica superficial que se tendrá en la región hidrológica 18 Balsas al año 2033, tomando en cuenta los registros históricos de precipitación y temperaturas con los que cuenta. Para así, planear de manera sustentable el aprovechamiento de este recurso natural. La región hidrológica 18 Balsas, comprende territorialmente parte de las entidades federativas de Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, México, Michoacán, Guerrero, Jalisco, una pequeña porción de Veracruz, así como la totalidad del estado de Morelos.

El cálculo de la disponibilidad superficial se basó en la NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

Los resultados mostraron que en la región se tiene un incremento en la precipitación y por ende los escurrimientos. Además, respetando las vedas, reservas y reglamentos que se tienen en la región hidrológica 18 Balsas resulta que se obtendrá disponibilidad al año 2033, manteniendo los usos consuntivos de manera estable y sin otorgar más concesiones.

**Palabras clave:** Cuencas, Disponibilidad, Temperaturas, Precipitación, Región Hidrológica, Agua.

## ABSTRACT

Water is a crucial element in all the forms of life because we depend on it to survive, being a very important factor for the country's development. Principal aspect to consider is the availability of water that we get and we'll have in the future in Mexico.

The problem that exists in the surface waters of Mexico, is the scarcity that has been worsening in decades, this is due to the concentration of the population and economic activity, by the reason that it is used for human activities such as livestock, for irrigation, industries, or even to generate hydroelectric power with the force of the rivers. Also the contamination of water bodies due to untreated wastewater discharges, whether domestic, industrial, agricultural, livestock or mining.

The present work was derived from the study of the evolution of availability of the 757 basins that constitute the Mexican Republic, within the framework of the "Joint Mexico-China Research Project for the planning and development of environmental and socially sustainable small hydroelectric power plants" by the National Institute of Electricity and Clean Energies (INEEL) in collaboration with the Mexican Institute of Water Technology (IMTA) (1986). The objective is to calculate the surface water availability that will exist in the 18th hydrological region in the year 2033, accounting for the historical records of precipitation and temperatures that it has. In order to plan in a sustainable way the use of this natural resource. The 18th hydrological region, territorially includes part of the states of Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Mexico, Michoacán, Guerrero, Jalisco, a small portion of Veracruz, as well as the entire state of Morelos.

The calculation of the surface availability was based on the Official Mexican Norm NOM-011-CONAGUA-2015, which establishes the specifications and the method to determine the average annual availability of national waters.

The results showed that in the region there is an increase in precipitation and therefore runoff. As well, by respecting the closures, reserves and regulations that exist in the 18th hydrological region, which availability will be obtained by the year 2033, maintaining consumptive uses in a stable manner and without granting more concessions.

**Keywords:** Basins, Availability, Temperatures, Precipitation, Hydrological Region, Water.

## I. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico en México se encuentra en una situación crítica ya que está siendo altamente afectado por la presión humana a causa de la sobreexplotación, contaminación y mal uso de las fuentes de agua. La mala calidad en que se encuentran los acuíferos ha ocasionado que la población desconfíe del agua corriente y recurra al consumo de agua embotellada, agravando cada vez más su disponibilidad (cantidad y calidad). (Capilla, 2018).

Estos factores de presión son fundamentalmente la sobreexplotación de acuíferos, el vertimiento de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, los cambios en el uso del suelo tales como la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, el incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, entre otros. La disponibilidad natural media anual por habitante en México era de 11 mil 500 metros cúbicos en 1955, y por efecto del crecimiento demográfico disminuyó a 4 mil 94 metros cúbicos en 2004. Es decir, se presentó una disminución de 64 por ciento en un periodo de 50 años. En 2020, con el aumento poblacional estimado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2003), y de continuar con los mismos esquemas de consumo y desperdicio del agua, la disponibilidad natural media por habitante será de sólo 3 mil 500 metros cúbicos. De continuar los actuales esquemas de uso y aprovechamiento ineficiente de los recursos hídricos, el futuro de México se ve seriamente amenazado.

Uno de los instrumentos de mayor relevancia en la gestión de los recursos hídricos es estimar la disponibilidad del agua en las cuencas hidrológicas, ya que a partir de sus magnitudes se podrán establecer los niveles de escasez o abundancia, asignar equitativamente los requerimientos de los usuarios o llevar a cabo la planeación del recurso agua a corto, mediano o largo plazo.

Este decrecimiento en la disponibilidad hídrica aunado a un alto índice de crecimiento poblacional, generan conflictos los cuales están incrementando y que tienden a agravarse; si no se toman las medidas necesarias, como la regulación del uso del agua a través de mecanismos de planificación normativas y leyes que permitan su protección y su distribución en forma racional.

Estos estudios que permiten tener un amplio conocimiento de los recursos hídricos en México y la problemática a la que se enfrenta, son realizados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 1989). Órgano desconcentrado, Dependiente de la Secretaría de Medio Ambiente”. La cual es la encargada de administrar, regular, controlar y proteger las aguas nacionales, dándole también así soluciones efectivas, por lo tanto su función es indispensable para alcanzar las metas que se han trazado en cada cuenca del país.

La CONAGUA es la encargada de preservar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes para su administración sustentable y garantizar la seguridad hídrica con la responsabilidad de los órdenes de gobierno y la sociedad en general. Busca ser una institución de excelencia en la preservación, administración de las aguas nacionales y la seguridad hídrica de la población.

El presente trabajo a realizar se encuentra en el marco del “Proyecto conjunto de investigación México-China para la planeación y desarrollo ambiental y socialmente sustentable del sector de las pequeñas centrales hidroeléctricas” por parte del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) y en colaboración con el Instituto Mexicano del Agua (IMTA) (1986).

Organismo público descentralizado coordinado sectorialmente por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), de ello se deriva el estudio de la evolución de disponibilidad de las 757 cuencas que integran la República Mexicana.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Analizar la evolución de los estudios de disponibilidad hídrica de las 15 cuencas hidrográficas de la Región Hidrológica 18 Balsas, publicadas en el Diario Oficial de la Federación y obtener la prospectiva del volumen de agua disponible al 2033, con base en la tendencia de los registros históricos de precipitación y temperatura.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Estimar la disponibilidad hídrica de aguas superficiales con base en el comportamiento de los valores publicados en los estudios de disponibilidad.
- b) Estimar la precipitación, temperatura máxima y mínima al año 2033.
- c) Estimar la disponibilidad hídrica de aguas superficiales con base en la NOM 011 CONAGUA 2015.

## **III. HIPÓTESIS**

Se tendrá Disponibilidad Hídrica en la Región Hidrológica 18 Balsas al Año 2033, considerando las variables climatológicas.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Usos del Agua

Se define al uso como la aplicación del agua a una actividad. Cuando existe consumo, entendido como la diferencia entre el volumen suministrado y el volumen descargado, se trata de un uso consuntivo. Existen otros usos que no consumen agua como la generación de energía eléctrica, que utiliza el volumen almacenado en presas. A estos usos se les denomina no consuntivos (CONAGUA, 2009).

El principal uso del agua en México es el agrícola, el cual en términos de uso de aguas nacionales se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos. La superficie en unidades agrícolas de producción fue de 30.22 millones de hectáreas para el año 2007, conforme al VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Cabe destacar que dicho censo encontró que el 18% de dicha superficie es de riego, y la superficie restante tiene régimen de temporal (INEGI, 2003 y 2008.)

El uso para abastecimiento público incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a las diversas industrias y servicios conectados a dichas redes. El disponer de agua en cantidad y calidad suficiente para el consumo humano es una de las demandas básicas de la población, pues incide directamente en su salud y bienestar en general (CONAGUA, 2001-2008).

Por otro lado el uso en la industria autoabastecida se incluye como la industria que toma el agua que requiere directamente de los ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país. De acuerdo al Censo Económico, los principales subsectores que integran a la industria, extracción de petróleo y de gas, fabricación de equipo de transporte, industria química, e industria alimentaria (INEGI, 2009).

El uso del agua en centrales termoeléctricas se refiere a el agua utilizada en las centrales de vapor duales, carboeléctricas, de ciclo combinado, las de turbogas y de combustión interna. La disponibilidad de agua y energía representa un aspecto fundamental a la hora de satisfacer las necesidades humanas básicas y garantizar el desarrollo de las economías a nivel mundial. De acuerdo con lo reportado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en el año 2008, las centrales termoeléctricas generaron 193.56 TWh, lo que representó el 83.6% del total de energía eléctrica producida en el país (CFE, 2008).

## 4.2 Evaporación y evapotranspiración

La evaporación es el resultado del proceso físico por el cual el agua cambia de estado físico, del líquido al gaseoso, retornando, directamente a la atmósfera en forma de vapor. También lo hace del estado sólido (nieve, hielo, etc.) directamente a la atmósfera mediante el fenómeno de “sublimación”. La evaporación es el fenómeno físico que permite a un fluido, convertirse en vapor o sea, en gas e incorporarse al aire. Es un fenómeno no conocido exhaustivamente y forma parte del ciclo hidrológico (Blaney y Criddle, 1950).

Si consideramos la evaporación de una superficie libre (lago, río, etc.), como la forma más simple del proceso,+ este se puede esquematizar de la siguiente manera.

Las moléculas de agua están en continuo movimiento. Cuando llegan a la superficie del líquido, se calientan por efecto de la radiación solar, aumenta su temperatura y en consecuencia su velocidad, creciendo tanto su energía cinética, hasta que algunas consiguen liberarse de la atracción de las moléculas adyacentes y atravesar la interfase líquido - gas, convirtiéndose en vapor. (Penmann, H. L, 1948).

- a) Ecuaciones físicas: relacionan las variables físicas intervinientes. Tienen el inconveniente de que requieren información que en general no se dispone. (Duarte O, & Díaz E, 2003).

Ejemplo: radiación  
neta, gradiente de humedad, viento en altura, etc.

- b) Semiempíricas: Toma algunos planteos hechos por las fórmulas físicas y ajustan esas expresiones a valores reales medidos.

- c) Empíricas: Busca solo una relación matemática por regresión con datos experimentales.

En la ingeniería agronómica se usan las fórmulas semi empíricas que tienen la siguiente expresión general:

$$E = C * (e_{sa} - e_v) * (a + Bv) \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

esa: Tensión de saturación correspondiente a la temperatura de la superficie evaporante.  
ev: Tensión de vapor del aire.

La Ecuación de TURC es una de ella y se expresa como:

$$E \text{ (mm/mes)} = 1/16 * (t + 2 * (Rg) 0.5) u0.5 \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

T = temperatura en °C  
Rg = Radiación (cal/cm<sup>2</sup>/min)

La ecuación de PENMANN es del tipo físico y su ecuación es:

$$E \text{ (mm/día)} = (\Delta Rn + \gamma Ea) / (\Delta + \gamma) \dots\dots\dots(3)$$

Donde

Rn = Radiación neta (mm/día)

$$Ea = (es-ev) * 0.35 * (2.5+0.155 * v2) \dots\dots\dots(4)$$

v2 = Velocidad del viento a 2 metros (m/seg)

$\gamma$  = es una constante = 0.27 mm de Hg / °C

En pocas palabras la evapotranspiración es la combinación de la evaporación y transpiración.

La evapotranspiración es la cantidad de agua que retorna a la atmósfera, tanto por transpiración de la vegetación como por evaporación del suelo. Su magnitud depende del agua realmente disponible, es decir la que el suelo ha logrado retener para el consumo de la vegetación, así como la que ha sido interceptada por ésta. (Smith, J, 1998).

Los valores de interceptación de la precipitación por la cobertura vegetal, varían en función de la composición del bosque, sus características y ubicación. Un rango de valores medios de interceptación expresada como porcentaje de la lluvia total, generalmente aceptado para los bosques 15 a 40 %. Como se indicó anteriormente, la interceptación es parte de la evapotranspiración.

### 4.3 Balance hídrico

El estudio del balance hídrico se basa en la aplicación del principio de conservación de masas de agua (también se conoce como ecuación de la continuidad). Este método de medición analiza la entrada y salida de agua de un espacio territorial a lo largo del tiempo. Mediante el estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre (Ordoñez, 2011).

- La información que proporciona el balance hídrico de las cuencas de ríos (en cortos períodos de tiempo como estaciones, meses, semanas, etc.) se utiliza para manejo de embalses y predicciones hidrológicas temporales.
- Con los datos que proporciona es posible comparar recursos específicos de agua en un sistema, en diferentes períodos de tiempo y establecer su grado de influencia en las variaciones del régimen natural.

- Facilita la evaluación indirecta de cualquier otro componente.
- Permite la planificación del recurso hídrico por escenarios, oferta, demanda, usos y gestión.

El balance hídrico de aguas superficiales por cuenca toma en cuenta la ecuación general de cambio de almacenamiento.

$$\frac{\partial V}{\partial t} = E - S \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

$\frac{\partial V}{\partial t}$  = Cambio de almacenamiento en el tiempo.

$E$  = Entradas.

$S$  = Salidas.

De la ecuación general se desglosan los elementos para el balance de agua superficial en cuencas.

$$\Delta V = (Vp + Ear + Im + Re + B + Vm) - (Ev + ET + Eaa + Ex + Uc + f + In + Int) \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

$\Delta V$  = Cambio de almacenamiento.

$Vp$  = Volumen precipitado.

$Ear$  = Escurrimiento aguas arriba.

$Im$  = Importaciones de cuencas externas.

$Re$  = Retornos.

$B$  = Extracciones por bombeo dentro del polígono.

$Vm$  = Volumen aportado por manantiales.

$Ev$  = Evaporación de cuerpos de agua.

$ET$  = Evapotranspiración.

$Eaa$  = Escurrimiento aguas abajo.

$Ex$  = Exportaciones.

$Uc$  = Usos de consumo.

$f$  = Fugas en la red de distribución de agua potable

$In$  = Infiltración.

$Int$  = Intercepción.

El volumen del escurrimiento se puede expresar por cuenca propia ( $Cp$ ), por esta razón la ecuación del balance superficial se reduce a:

$$Cp = Vp - ET - In - Int \dots \dots \dots (7)$$

Y la ecuación del balance de agua superficial en cuencas se reduce a:

$$\Delta V = (Cp + Ear + Im + Re + B + Vm) - (Ev + Eaa + Ex + Uc + f) \dots \dots \dots (8)$$

#### 4.4 NOM 011 CONAGUA 2015

La Norma Oficial Mexicana NOM 011 CONAGUA 2015 sirve para la conservación del recurso más indispensable que es agua, y establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Se usa para la protección, el mejoramiento, la conservación y restauración de las cuencas hidrológicas, acuíferos, cauces, vasos y demás depósitos de agua de propiedad nacional. (CONAGUA, 2015).

Los métodos que la NOM 011 de CONAGUA 2015 que contiene para el cálculo de la disponibilidad de aguas superficiales. Son la realización de un balance de las mismas donde se define de manera precisa la recarga, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos de agua que se extrae artificialmente de los cauces y embalses superficiales para los diversos usos.

- Apéndice normativo A: Métodos para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural.
- Apéndice normativo B: Métodos para determinar la recarga total de un acuífero.
- Apéndice informativo C: Ejemplo para determinar mediante el método directo el volumen medio anual de escurrimiento natural.
- Apéndice informativo D: Ejemplo para determinar mediante el método indirecto el volumen medio anual de escurrimiento natural.

Por otra parte la Norma Oficial Mexicana NOM 011 CONAGUA 2015 establece el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas superficiales y del subsuelo de todo el país, para su explotación, uso y aprovechamiento adecuado.

El objetivo es contar a nivel nacional con una base técnica que permita regular el uso racional y equitativo de los recursos hídricos, en especial a efectos del otorgamiento de asignaciones y concesiones (para el cual, en base a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, se tomará en cuenta la disponibilidad media anual de agua).

## V. METODOLOGIA

En el presente trabajo de investigación se muestran los pasos a seguir para la realización del estudio de disponibilidad hídrica de la región Balsas. Se exponen de manera detallada cada una de las actividades realizadas, desde su ubicación con respecto al país, superficie de cada cuenca, ordenamientos superficiales, volúmenes disponibles por cuenca existentes hasta en 2020, proyección de disponibilidad al 2033, descripción de los usos de agua por cuenca hidrográfica de la región, recopilación de información climatológica histórica de lluvia, temperaturas máximas y mínimas de estaciones climatológicas, estimación de la precipitación y temperaturas al 2033 por cuenca hidrográfica, cálculo de agua por cuenca propia, análisis de disponibilidad del agua al 2033, llevando a cabo el análisis y presentación de resultados de cada etapa, aplicando las ecuaciones para su obtención, y con base en la NOM-011-CONAGUA-2015.

### 5.1 Marco Geográfico

El área geográfica en la cual se realizará la investigación es la región hidrológica 18 Balsas; Incluye en su totalidad al Estado de Morelos (100%) y parcialmente a los Estados de Tlaxcala (75%), Puebla (55%), México (36%), Oaxaca (9%), Guerrero (63%), Michoacán (62%) y Jalisco (4%), así como muy pequeñas porciones de la CDMX y del Estado de Veracruz; con un total de 422 municipios y una superficie total de 117,305.9 kilómetros cuadrados.

Usando cuencas hidrográficas de la Rh 18 Balsas, Entidades Federativas del país y Localidades urbanas en formato vector poligonal para su ubicación de estudio.

Calculo del Área (km<sup>2</sup>) de las 15 cuencas de la Rh 18 a través de la página del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA, 2020a).

Utilizando el mpk en el SIG de localidades obtenida de (INEGI, 2020), para el cálculo de las ciudades principales de más de 50 mil habitantes, y agrupar la población por estado, para la obtención de la población total por entidad federativa de la Rh 18.

## 5.2 Ordenamientos Superficiales; Decretos, vedas y reservas

De acuerdo al Sistema Nacional de Información del Agua (SINA, 2020b) se tienen las siguientes definiciones:

**Reglamento:** son aquellas áreas específicas de los acuíferos, cuencas hidrológicas, o regiones hidrológicas que, por sus características de deterioro, desequilibrio hidrológico, riesgos o daños a cuerpo de agua o al medio ambiente, fragilidad de los ecosistemas vitales, sobreexplotación, así como para su reordenamiento y restauración requieren un manejo hídrico específico para garantizar la sustentabilidad hidrológica.

**Veda:** son aquellas áreas específicas de los acuíferos, cuencas hidrológicas, o regiones hidrológicas, en las cuales no se autorizan aprovechamientos de agua adicionales a los establecidos legalmente y éstos se controlan mediante reglamentos específicos, en virtud del deterioro del agua en cantidad o calidad, por la afectación a la sustentabilidad hidrológica, o por el daño a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

**Reserva:** son aquellas áreas específicas de los acuíferos, cuencas hidrológicas, o regiones hidrológicas, en las cuales se establecen limitaciones en la explotación, uso o aprovechamiento de una porción o la totalidad de las aguas disponibles, con la finalidad de prestar un servicio público, implantar un programa de restauración, conservación o preservación o cuando el Estado resuelva explotar dichas aguas por causa de utilidad pública.

Obtención del tipo de ordenamiento que se tienen o tenían en las cuencas de la Rh 18 Balsas en 2019 por medio de SINA 2020b.

Observando el tipo de ordenamiento en la región hidrológica 18 Balsas cuenta con decretos, vedas y reservas.

Analizar vedas, reservas, reglamentos para las 15 cuencas de la Rh 18 con la finalidad de encontrar las fechas donde se publicaron los decretos y para saber qué tipo de decretos son, los acuerdos y ordenamientos establecidos en la zona y las problemáticas a las que se ha enfrentado.

Todo esto para ver que decretos suprimen a la veda y dan permiso de dar agua a la población en ciertos volúmenes de metros cúbicos de agua.

Realizando una figura en Arcgis®, para observar el tipo de ordenamientos de sus cuencas en 2019 de la región Balsas, utilizando el sistema de coordenadas cónica de Lambert GCS\_WGS\_84 y el shapefile de ordenamientos superficiales 2019.

### 5.3 Evolución de la disponibilidad hídrica superficial de la cuenca al 2020.

El 17 de abril de 2002 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, la Norma Oficial Mexicana NOM-011- CONAGUA-2000, "Conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales", con el fin de cumplir con lo establecido en la Ley de Aguas Nacionales en su artículo 9, segundo párrafo (DOF, 2015).

Una vez cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, para la elaboración de los proyectos de modificación de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, en su Primera Sesión extraordinaria de 2015, aprobó para publicación definitiva la presente norma oficial mexicana NOM- 011-CONAGUA-2015 (DOF, 2015).

La disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica es el volumen total de agua ya precipitada sobre esta misma, para ser utilizado, en la Agricultura, Abastecimiento Público Urbano, Industrial y Termoeléctricas, por ejemplo para el riego, abastecimiento de agua potable, para uso industrial y generación de energía eléctrica.

Se calcula bajo la NOM-011-CONAGUA-2015 (DOF, 2015), en donde se suman entradas menos las salidas para calcular las disponibilidades.

Usando la Ecuación de Balance Hídrico;

De acuerdo con la NOM-011-CONAGUA-2015 (DOF, 2015) la disponibilidad media anual de aguas superficiales es la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo y el volumen medio anual comprometido aguas abajo.

$$D = A_b - R_{xy}$$

Donde:

- D** Disponibilidad media anual de aguas superficiales en  $Mm^3$
- $A_b$**  Volumen medio anual de escurrimientos hacia aguas abajo en  $Mm^3$
- $R_{xy}$**  Volumen medio anual comprometido hacia aguas abajo en  $Mm^3$

El escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo ( $A_b$ ), se determina de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$A_b = A_r + C_p + R_e + I_m - E_x - U_c - E_v - A_v$$

Donde:

- $A_r$**  Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba

- $C_p$**  Volumen medio anual de escurrimiento natural  
 **$R_e$**  Volumen anual de retornos  
 **$I_m$**  Volumen anual de importaciones  
 **$E_x$**  Volumen anual de exportaciones  
 **$U_c$**  Volumen anual de extracción de agua superficial ( $U_c(a)$ ,  $U_c(b)$ ,  $U_c(c)$ )  
 **$U_c(a)$**  Volumen anual de extracción de agua superficial mediante títulos inscritos/asignados actualmente en el REPDA  
 **$U_c(b)$**  Volumen anual de extracción de agua superficial de títulos en proceso de inscripción en el REPDA.  
 **$U_c(c)$**  Volumen anual correspondiente a las reservas y las zonas reglamentadas  
  
 **$E_v$**  Volumen medio anual de evaporación en embalses y cuerpos de agua  
 **$A_v$**  Volumen medio anual de variación de almacenamiento en embalses

La ecuación que define  $Ab$  hace referencia al cálculo del balance aguas superficiales, las variables positivas indican el volumen de agua que entra a la cuenca y las de signo negativo representan el volumen de agua que sale de la misma.

Describiendo la evolución de disponibilidad hídrica de acuerdo al historial de los estudios de disponibilidad de agua superficial de los distintos años que se tiene en la región hidrológica Balsas.

Se utiliza el SIG para mostrar las cuencas hidrográficas de la región que presentan disponibilidad de agua superficial y las cuencas con déficit, de acuerdo al estudio de disponibilidad del año 2020. Utilizando el sistema de coordenadas cónica de Lambert GCS\_WGS\_84, para la región hidrológica 18 Balsas.

Con la proyección lineal se obtiene una proyección de la disponibilidad hídrica al año 2033, con un volumen calculado mediante la función de Excel.

$$(PRONÓSTICO LINEAL) = (X; Y; V)$$

Donde:

- $X$**  Año 2033  
 **$Y$**  Información de los años (2007-2020)  
 **$V$**  Vector de Años (2007-2020)

## 5.4 Usos del agua

Este análisis se hace con la finalidad de ver el comportamiento en el tiempo de las variables naturales y antropogénicas que influyen en el cálculo de la disponibilidad. Al obtenerse valores proyectados de estas variables, se estima el porcentaje de cambio con respecto a lo histórico, para aplicarse este porcentaje al último valor publicado en los estudios de disponibilidad 2020. Ya que esta variable es importante en la ecuación de disponibilidad siendo una variable muy dinámica en el tiempo.

Se realiza una investigación de los sectores productivos más relevantes de la región y por cuenca hidrográfica, información que se obtuvo de la página del Sistema de Información Nacional del Agua (SINA, 2020) y Comisión Nacional del Agua CONAGUA.

En México, la Conagua clasifica a los consumidores de agua en tres principales sectores: agrícola, abastecimiento público, industrial y termoeléctrico.

Estimar los usos consuntivos del agua para el sector Agrícola, Público Urbano, Industrial y Termoeléctrico al 2019, sumando y obteniendo las totalidades de los valores de las 15 cuencas, para conocer los usos que tienen mayor importancia en la región.

Definiendo el volumen de agua por uso consuntivo el cual se divide en dos fuentes de extracción: superficial (escurrimientos, ríos almacenados en presas) y subterránea (la obtenida en pozos). Obteniendo la gráfica del porcentaje de distribución por tipo de fuente al 2019 de las 15 cuencas que componen la región.

La información de los usos consuntivos (intensidad y fuentes) viene por municipio dado a esto se realizó la ponderación de áreas para obtener los valores por cuenca. Calculando Área en Km<sup>2</sup> de la tabla de atributos del shapefile de usos consuntivos en Arcgis® y se procede a calcular el porcentaje del Área.

Utilizando las fórmulas para su obtención;

$$\% \text{ Area} = \% \text{ Area} = \left( \text{AreaKm2} * \frac{1,000,000\text{m2}}{\text{Shape}_{\text{ar2}}} \right)$$

$$\text{Volumen Superficial} = (\% \text{Area} * \text{Volumen\_Superficial. Original})$$

$$\text{Volumen Subterraneo} = (\% \text{Area} * \text{Volumen Subterraneo. Original})$$

Una vez obtenido el porcentaje de Área de la tabla de atributos del shapefile de usos consuntivos se calcula el porcentaje Agrícola, Abastecimiento Público, Industrial y Termoeléctrico desde el año 2014 hasta 2020, la cual se obtienen a través de las siguientes formulas.

$$\% \text{ Agrícola} = (\% \text{ Área} * \text{ Agrícola})$$

$$\% \text{ Abastecimiento Público} = (\% \text{ Área} * \text{ Abastecimiento Público})$$

$$\% \text{ Industrial} = (\% \text{ Área} * \text{ Industrial})$$

$$\% \text{ Termoeléctrico} = (\% \text{ Área} * \text{ Termoeléctrico})$$

Y se calcula la proyección al 2033 de los cuatro sectores; Agrícola, Abastecimiento Público, Industrial y Termoeléctrico con la función de Excel.

$$(\text{PRONÓSTICO LINEAL}) = (X; Y; V)$$

Donde:

**X** Año 2033

**Y** Información de los años (2014-2019)

**V** Vector de Años (2014-2019)

Elaborando gráficos para los cuatro sectores; Agrícola, Abastecimiento Público, Industrial y Termoeléctrico con la finalidad de ver su comportamiento en el tiempo y su crecimiento o decrecimiento proyectado al 2033. Observando también el porcentaje de cambio entre 2019 y 2033 del volumen concesionado de las 15 cuencas de la región hidrológica Balsas, utilizando las siguientes ecuaciones para su obtención.

$$\% \text{ Cambio (2019 – 2033)} = \frac{2033 - \text{Usos Consuntivos 2019}}{\text{Usos Consuntivos 2019}}$$

$$\text{Valor regional} = \frac{(\text{valor total del 2033} - \text{valor total del 2019})}{\text{valor total del 2019}}$$

$$\begin{aligned} \text{Valor Agrícola (2014 – 2019)} \\ = \frac{(\text{Valor total Agrícola 2019} - \text{Valor total Agrícola 2014})}{\text{Valor total Agrícola 2014}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Valor Abastecimiento Público (2014 – 2019)} \\ = \frac{(\text{Valor total Abastecimiento Público 2019} - \text{Valor total Abastecimiento Público 2014})}{\text{Valor total Abastecimiento Público 2014}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Valor Industrial (2014 – 2019)} \\ &= \frac{(\text{Valor total Industrial 2019} - \text{Valor total Industrial 2014})}{\text{Valor total Industrial 2014}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Valor Termoeléctrico (2014 – 2019)} \\ &= \frac{(\text{Valor total Termoeléctrico 2019} - \text{Valor total Termoeléctrico 2014})}{\text{Valor total Termoeléctrico 2014}} \end{aligned}$$

## 5.5 Precipitación y temperaturas históricas

Se estimara el volumen por cuenca propia (Cp) de la disponibilidad, que se obtienen del valor promedio de precipitación y temperatura media de la serie de registros históricos, con base a los métodos descritos más adelante.

Recopilando información histórica de lluvia y temperaturas máximas y mínimas de las estaciones climatológicas, ubicadas dentro y en un radio adecuado a la región Balsas (SMN, s.f. a).

Seleccionando las estaciones obtenidas del CLICOM que se ubicaron dentro y en un margen de aproximadamente 5 km de la región Rh 18. Eligiendo solo las estaciones que caen dentro de la región hidrológica 18 Balsas que comprenden el Estado de México, Morelos, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Tlaxcala, Veracruz y Jalisco.

Creando tablas dinámicas en Excel de cada variable climatológica TD\_TMAX, TD\_TMIN Y TD\_PRECIPITACION para todos los estados ya mencionados. Para la obtención del análisis de cantidad de registros para las tres variables climatológicas, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima y Precipitación de la Rh 18, para su asignación de cuenca a cada estación climatológica.

Eliminando aquellos registros fuera de rango y también las estaciones que cuenten con menos de 20 años de información y/o no cuenten con esta misma cantidad de información en los últimos años.

Obteniendo dos escenarios de precipitación y temperaturas, el primero fue el escenario actual, basado en el promedio histórico resultante de la información registrada de estas dos variables de 1980 hasta el valor actual, para algunas estaciones fue al 2016, 2017 o 2018.

Por cada estación se obtendrá la precipitación media anual y las temperaturas medias anuales. El cual se calcula con las siguientes funciones de Excel.

$T_{Minmed} = \text{Promedio (información de los años 1980 – 2017)}$

$T_{Maxmed} = \text{Promedio (información de los años 1980 – 2017)}$

$\text{Precipitación} = \text{Promedio (información de los años 1980 – 2017)}$

*Proyección 2033 TMin*

*= Pronostico.Lineal (Año 2033; Información de años 1980 – 2017; Vector de años 1980 – 2017)*

*Proyección 2033 TMax*

*= Pronostico.Lineal (Año 2033; Información de años 1980 – 2017; Vector de años 1980 – 2017)*

*Proyección 2033 Precipitación*

*= Pronostico.Lineal (Año 2033; Información de años 1980 – 2017; Vector de años 1980 – 2017)*

$$\% \text{ de cambio} = \left( \text{Proyección 2033} - \frac{T_{Minmed}}{T_{Minmed}} \right)$$

$$\% \text{ de cambio} = \left( \text{Proyección 2033} - \frac{T_{Maxmed}}{T_{Maxmed}} \right)$$

$$\% \text{ de cambio} = \left( \text{Proyección 2033} - \frac{\text{Precipitaciónmed}}{\text{Precipitaciónmed}} \right)$$

Para las tres variables climatológicas, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima y Precipitación se determinará la media anual de cada cuenca con el fin de generar un valor para cada año. Eliminando aquellos valores fuera de rango y se detectarán cambios considerables en la toma de los registros.

El segundo escenario se obtendrá con base en el análisis de tendencia al año 2033 de la información registrada. Con la serie de valores y agregando una línea de tendencia se estimará la precipitación y temperaturas al 2033 por cuenca hidrográfica. Las cuales se mostraran en las siguientes tablas.

## 5.6 Volumen de agua por cuenca propia

El volumen de agua por cuenca propia es una variable contenida en la formulación para el cálculo de disponibilidad media anual. De acuerdo a la NOM-011-CONAGUA-2015, el Apéndice informativo A indica que “En caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información de registros hidrométricos o ésta sea escasa, para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural se aplica el método indirecto denominado: precipitación-escurrimiento.

Este método hace referencia al uso del coeficiente de escurrimiento que se relaciona con la precipitación anual y el área de la cuenca, este coeficiente se obtiene en función de las características topográficas de la cuenca y del uso y tipo de suelo.

El objetivo de este estudio es estimar el volumen de escurrimiento al año 2033 considerando las afectaciones por cambio climático, en donde una de las variables climáticas con mayor cambio es la temperatura, y a la cual se le atribuyen cambios considerables en las condiciones climáticas.

Se obtendrá el volumen de agua por cuenca propia para el año proyectado con el método de Turc, utilizando la tendencia de la precipitación y temperaturas. Se realizará una comparación con el volumen del último año publicado.

Se consideró el método de Turc, que de acuerdo a Sánchez-Javier, la formulación de Turc se basó en estimaciones del déficit del escurrimiento, es decir, la parte de la precipitación que no produce escurrimiento. Da como ejemplo una cuenca cerrada, en donde se considera el balance hídrico a escala anual, por lo que supone que el agua que se precipitó y no generó escurrimiento se perdió por evapotranspiración. Esta formulación se estableció comparando las precipitaciones y escorrentía total de numerosas cuencas. A continuación, se detalla el método.

Antes de analizar la evapotranspiración (ET) se debe tomar en cuenta que esta variable permite evaluar o medir en forma conjunta dos fenómenos que son parte del ciclo hidrológico: la evaporación y la transpiración. Además, es conveniente mencionar lo siguiente:

- La evaporación y la transpiración son difíciles de medir por separado
- Para los estudios de disponibilidad de agua superficial es de mayor interés conocer la cantidad total de agua que se pierde a la atmósfera, ya que el volumen de agua disponible está dado por lo que llueve menos lo que se evapotranspira.

Existen dos tipos de evapotranspiración: potencial y real, las cuales se describen a continuación.

- La evapotranspiración potencial (ETP) se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas (suelo húmedo y desarrollo vegetal).

- La evapotranspiración real (ETR) es condicionada por la disponibilidad de agua, cuando ésta es suficiente su valor es el de la ETP; cuando hay déficit hídrico la ETR es inferior a la ETP.

Entre los factores que influyen en la ET se pueden mencionar la radiación solar; la temperatura (en relación estrecha con la anterior pero más sencilla de medir); la humedad (menos humedad => más evaporación); la presión atmosférica altitud en relación con ella (a menor presión y/o mayor altitud => más evaporación); y el viento (más viento => más evaporación).

El método de TURC establece que para calcular el volumen por Cp en milímetros se debe obtener la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración dada por la ecuación:

### ***Método de Turc***

$$E = P - ETR \qquad L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$$

$$\begin{array}{ll} \text{Si } P > 0.31 L & \text{Si } P < 0.31 L \\ ETR = \frac{P}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} & ETR = P \end{array}$$

$$E = P - ETR$$

Donde:  $E$  = Escurrimiento específico anual, en mm  
 $P$  = Precipitación anual, en mm  
 $ETR$  = Evapotranspiración real en la cuenca, en mm

La  $ETR$  se calcula con la siguiente expresión:

Si  $P > 0.31L$  entonces

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Donde  $L$  se obtiene como:

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

Donde a su vez:  $P$  = Precipitación anual, en mm  
 $T$  = Temperatura media, en °C

Si  $P < 0.31L$  entonces

$$ETR = P$$

El volumen medio anual de escurrimiento natural ( $C_p$ ), en  $m^3$ , se obtiene con la expresión:

$$Cp = E A$$

Donde:  $A$  es el área de la cuenca, en  $m^2$   
 $E$  = Esgurrimiento específico anual, en  $m$

El volumen por cuenca propia se calculó por el método de Turc, donde las variables más importantes son la precipitación y temperaturas, así como el área de cada cuenca. Una vez estimados los valores para los dos diferentes escenarios de las variables climáticas se calculó el volumen por cuenca propia. Los dos escenarios son: precipitación y temperatura media histórica (actual), precipitación y temperaturas al 2033. Calculando su porcentaje de cambio desde el actual hasta el 2033.

## 5.7 Análisis de la disponibilidad del agua al 2033

La estimación de la disponibilidad superficial, es evaluar la cantidad de agua que se puede utilizar después de haber reservado los volúmenes que ya han sido concesionados. Así como existen dos tipos de volúmenes reservados, también hay dos tipos de disponibilidad: la disponibilidad por cuenca propia y la disponibilidad hacia aguas abajo; la primera se calcula con la diferencia del escurrimiento por cuenca propia (escurrimiento virgen) menos el volumen reservado por cuenca propia; la segunda es igual a la diferencia del escurrimiento hacia aguas abajo, menos el volumen reservado hacia aguas abajo.

Con base en la NOM-011-CONAGUA-2015, se realizará el cálculo de la disponibilidad al 2033 de las cuencas de la región. Como variables se tendrán el volumen de agua por cuenca propia al año 2033 y el volumen de usos consuntivos se considerará el establecido en el último estudio de disponibilidad de aguas superficiales publicado en el DOF de la región hidrológica Balsas, que es del año 2020.

El significado físico de la disponibilidad por cuenca propia corresponde al volumen que se genera en la misma cuenca y que no ha sido utilizado. La disponibilidad total en el punto aguas abajo de análisis, corresponde a la suma de las disponibilidades por cuenca propia, desde las cuencas que están ubicadas aguas arriba hasta la cuenca más baja.

La disponibilidad media anual de aguas nacionales de acuerdo a la NOM-011-CONAGUA-2015, se determina en el cauce principal en la salida de la cuenca hidrológica, mediante la siguiente expresión.

**DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA SUPERFICIAL EN LA CUENCA HIDROLÓGICA** = **VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA HACIA AGUAS ABAJO** - **VOLUMEN ANUAL ACTUAL COMPROMETIDO AGUAS ABAJO**

Para el análisis de usos consuntivos al 2033, se revisó la información de usos del agua contenidos en el SINA, además de revisar los ordenamientos publicados hasta la fecha para cada cuenca. Así mismo, se revisó la interconexión de cuencas que a continuación se describe.

Realizando una figura donde se muestra el diagrama de bloques la interconexión entre cuencas hidrográficas para la Rh 18 y su desembocadura.

Obteniendo la disponibilidad de agua superficial por escenarios el primer escenario disponibilidad de agua superficial del estudio 2020, es lo publicado en el estudio de disponibilidad del 2020 emitido en el DOF, su función es contar con un punto de referencia.

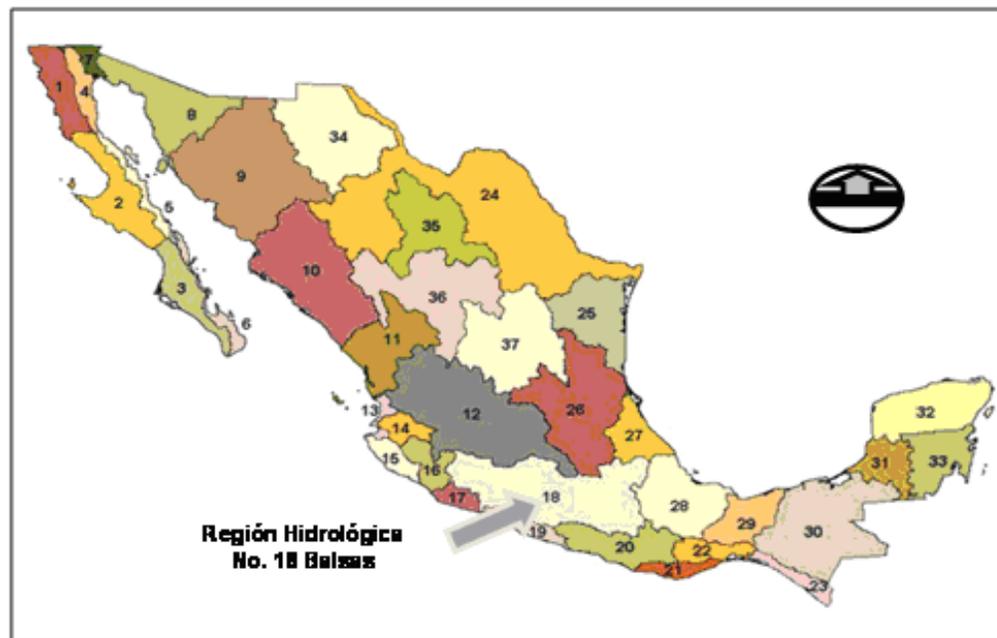
Y escenario disponibilidad de agua superficial al 2033 se consideró el incremento del volumen por cuenca propia calculado mediante el método de Turc actual y el proyectado al 2033. Por cada cuenca se estimaron la precipitación y temperaturas medias anuales desde 1980 a la fecha, obteniendo con ello una proyección lineal al 2033. El porcentaje de cambio de volumen por cuenca propia se aplicó al volumen por cuenca propia del estudio 2020 para obtener el Cp al 2033. Obteniendo las disponibilidades para los dos escenarios los cuales se representan en la gráfica.

Los resultados se llevarán al SIG para mostrar los mapas de las cuencas con y sin disponibilidad, comparando los dos mapas el actual y el 2033.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Lugar de Establecimiento

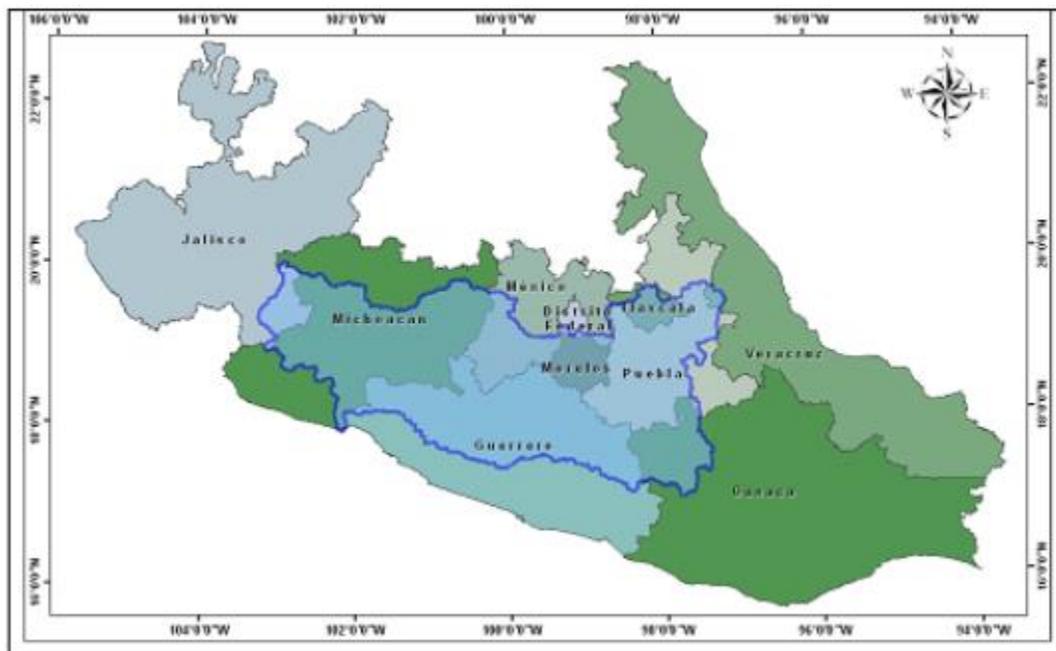
La Región Hidrológica (Rh) número 18 Balsas se localiza entre los paralelos 17° 13' y 20° 04' de latitud Norte y los meridianos 97° 25' y 103° 20' de longitud Oeste. Cuenta con una superficie hidrológica de 117,405 kilómetros cuadrados, equivalente al 6% del territorio nacional (Diario Oficial de la Federación DOF, Acuerdo 2 de febrero de 1966). Se localiza al Suroeste de nuestro país (Figura 1), está limitado al Norte por las Regiones Hidrológicas números 12 Lerma-Santiago, número 26 Río Pánuco y número 27 Norte de Veracruz, al Oeste por las Regiones hidrológicas números 16 Armería Coahuayana y 17 Costa de Michoacán, al Sur por el Océano Pacífico y por las Regiones Hidrológicas números 19 Costa Grande de Guerrero y 20 Costa Chica de Guerrero, y al Este por la Región Hidrológica número 28 Papaloapan, Diario Oficial de la Federación (DOF, 2007).



**Figura 1-1.-Localización de la Rh 18 Balsas. Fuente Diario Oficial de la Federación (DOF, 2007).**

La región hidrológica, está limitada por las Sierras Madre del Sur y la de Juárez, así como por el eje neovolcánico, tiene la forma de una depresión muy alargada con valles muy angostos, cuyo territorio está formado en su mayor parte por elevaciones con fuertes pendientes y un arreglo geológico poco propicio para el control y almacenamiento de los grandes escurrimientos que se presentan en la región hidrológica, ya que cuenta con un potencial importante de escurrimientos consistentes en más de 900 milímetros al año. Incluye en su totalidad al Estado de Morelos (100%) y parcialmente a los Estados de Tlaxcala (75%), Puebla (55%), México (36%), Oaxaca (9%),

Guerrero (63%), Michoacán (62%) y Jalisco (4%), así como muy pequeñas porciones de la CDMX y del Estado de Veracruz; con un total de 422 municipios y una superficie total de 117,305.9 kilómetros cuadrados. Diario Oficial de la Nación, (DOF, 2007). Acuerdo de 07 de diciembre de 2007. Figura 1-2.



**Figura 1-2.- Localización de la Rh 18 Balsas. Fuente Diario Oficial de la Federación (DOF, 2007)**

## 6.2 Marco geográfico de la Rh 18 Balsas

La Región Hidrológica número 18 Balsas se localiza entre los paralelos 17° 13' y 20° 04' de latitud Norte y los meridianos 97° 25' y 103° 20' de longitud Oeste (Figura 1-3). Comprende territorialmente parte de las entidades federativas de Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, México, Michoacán, Guerrero, Jalisco, una pequeña porción de Veracruz, así como la totalidad del estado de Morelos. Diario Oficial de la Federación (DOF, s.f. a).

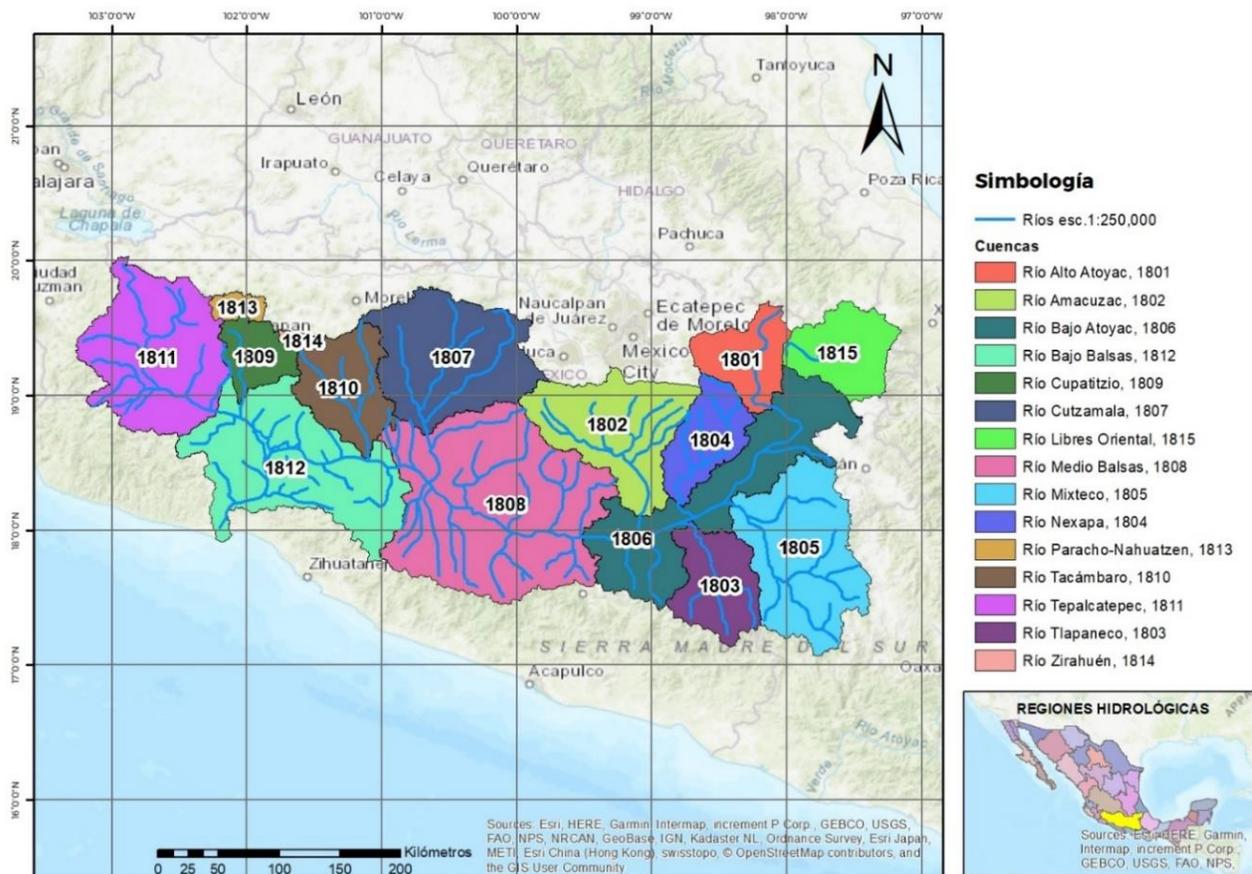


Figura 1-3.- Región Hidrológica 18 Balsas

**Tabla 1-1.- Área de Cuencas, Rh 18 (SINA, 2020a)**

| <b>Cuenca</b> | <b>Nombre</b>             | <b>Descripción</b>  | <b>Área<br/>km<sup>2</sup></b> |
|---------------|---------------------------|---|--------------------------------|
| 1801          | Río Alto<br>Atoyac        | Desde su nacimiento, hasta la presa Manuel Ávila<br>Camacho (Valsequillo)   | 4001.66                        |
| 1802          | Río Amacuzac              | Desde su nacimiento, hasta la EH Atenango del Río   | 8862.95                        |
| 1803          | Río Tlapaneco             | Desde su nacimiento, hasta la EH Ixcamilpa  | 4975.69                        |
| 1804          | Río Nexapa                | Desde su nacimiento, hasta la EH Sta. María Coetzala  | 4219.52                        |
| 1805          | Río Mixteco               | Desde su nacimiento, hasta la EH El Fraile  | 11082.7                        |
| 1806          | Río Bajo<br>Atoyac        | Desde donde se localizan la presa Manuel A. Camacho<br>(Valsequillo) y las EH Atenango del Río, Ixcamilpa, Sta.<br>María Coetzala y El fraile, hasta la EH San Juan<br>Tetelcingo | 11970.1                        |
| 1807          | Río Cutzamala             | Desde el nacimiento del Río Zitácuaro, hasta la EH El<br>Gallo  | 10643                          |
| 1808          | Río Medio<br>Balsas       | Desde donde se localizan las EH San Juan Tetelcingo y<br>El Gallo, hasta la EH La Caimanera   | 21270.5                        |
| 1809          | Río Cupatitzio            | Desde su nacimiento, hasta la EH La Pastoría  | 2676.52                        |
| 1810          | Río Tacámbaro             | Desde el nacimiento de corrientes perennes, hasta la EH<br>Los Pinzanes   | 5493.9                         |
| 1811          | Río<br>Tepalcatepec       | Desde el nacimiento del Río Quitupan, hasta la EH Los<br>Panches  | 11609.7                        |
| 1812          | Río Bajo<br>Balsas        | Desde donde se localizan las EH La Caimanera, La<br>Pastoría, Los Pinzanes y Los Panches, hasta su<br>desembocadura en el Océano Pacífico   | 13972.8                        |
| 1813          | Río Paracho-<br>Nahuatzen | Grupo de corrientes intermitentes (cuenca cerrada).   | 832.516                        |
| 1814          | Río Zirahuén              | Desde el nacimiento de pequeñas corrientes hasta su<br>descarga en el Lago Zirahuén (cuenca cerrada).   | 269.482                        |
| 1815          | Río Libres<br>Oriental    | Desde el nacimiento del Arroyo Xonecuila y los ríos La<br>Barranca y La Malinche, hasta su descarga en el Lago<br>deTotolcingo (cuenca cerrada)                                   | 4726.87                        |



**Figura 1-4.- Región hidrológica 18 Balsas, Entidades Federativas**

La Región Hidrológica número 18 Balsas, incluye en su totalidad al Estado de Morelos (100%) y parcialmente a los Estados de Tlaxcala (75%), Puebla (55%), México (36%), Oaxaca (9%), Guerrero (63%), Michoacán (62%) y Jalisco (4%), así como muy pequeñas porciones del Distrito Federal y del Estado de Veracruz; con un total de 422 municipios y una superficie total de 117,305.9 kilómetros cuadrados.

La región hidrológica, está limitada por las Sierras Madre del Sur y la de Juárez, así como por el eje neovolcánico, tiene la forma de una depresión muy alargada con valles muy angostos, cuyo territorio está formado en su mayor parte por elevaciones con fuertes pendientes y un arreglo geológico poco propicio para el control y almacenamiento de los grandes escurrimientos que se presentan en la región hidrológica, ya que cuenta con un potencial importante de escurrimientos consistentes en más de 900 milímetros al año.(DOF,2007).

En cuanto a las localidades principales con más de 50 mil habitantes, se muestra en la Tabla 1-2, las ciudades que se ubican dentro de la Rh 18 o intersecan con los límites de la región.

**Tabla 1-2.- Ciudades principales de más de 50 mil habitantes, Rh 18 (INEGI, 2020)**

| <b>Estado</b> | <b>Localidad</b>           | <b>Población</b> |
|---------------|----------------------------|------------------|
| Puebla        | Heroica Puebla de Zaragoza | 1,542,232        |
| Morelos       | Cuernavaca                 | 341,029          |
|               | Jiutepec                   | 174,629          |
|               | Cuatla                     | 157,336          |
| Michoacán     | Uruapan                    | 299,523          |

En total se tiene una población de 12, 004,579 habitantes, distribuidas en 8 Entidades Federativas (Tabla 1-3).

**Tabla 1-3.- Población por Entidad Federativa, Rh 18 (INEGI, 2020)**

| <b>Entidad Federativa</b> | <b>Población Total</b> |
|---------------------------|------------------------|
| Jalisco                   | 27,526                 |
| Michoacán de Ocampo       | 1,874,248              |
| México                    | 1,036,751              |
| Morelos                   | 1,937,181              |
| Guerrero                  | 1,216,914              |
| Tlaxcala                  | 1,216,708              |
| Puebla                    | 4,382,851              |
| Oaxaca                    | 312,400                |
| <b>Total</b>              | <b>12,004,579</b>      |

### **6.3 Decretos, vedas y reservas, Región hidrológica Rh 18 Balsas**

De acuerdo al Sistema Nacional de Información del Agua (SINA, 2020b) se tienen las siguientes definiciones:

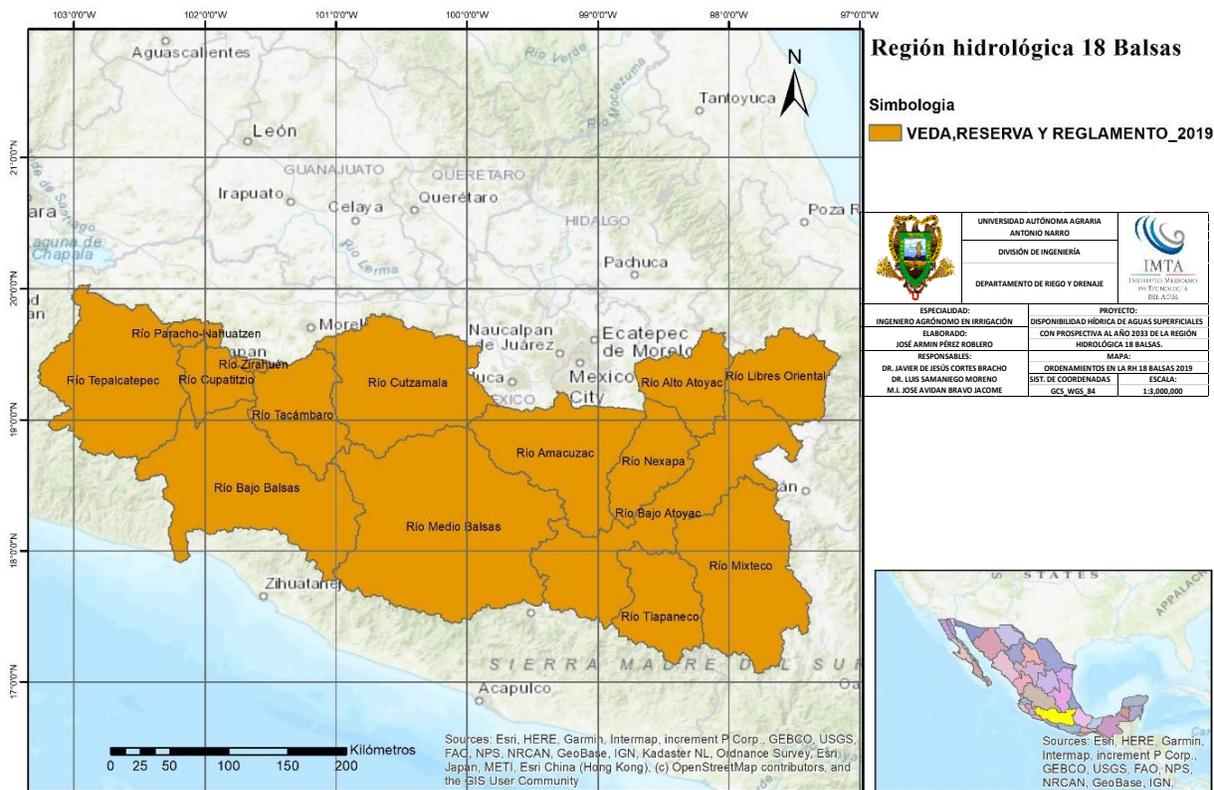
**Reglamento:** son aquellas áreas específicas de los acuíferos, cuencas hidrológicas, o regiones hidrológicas que, por sus características de deterioro, desequilibrio hidrológico, riesgos o daños a cuerpo de agua o al medio ambiente, fragilidad de los ecosistemas vitales, sobreexplotación, así como para su reordenamiento y restauración requieren un manejo hídrico específico para garantizar la sustentabilidad hidrológica.

**Veda:** son aquellas áreas específicas de los acuíferos, cuencas hidrológicas, o regiones hidrológicas, en las cuales no se autorizan aprovechamientos de agua adicionales a los establecidos legalmente y éstos se controlan mediante reglamentos específicos, en virtud del deterioro del agua en cantidad o calidad, por la afectación a la sustentabilidad hidrológica, o por el daño a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Reserva: son aquellas áreas específicas de los acuíferos, cuencas hidrológicas, o regiones hidrológicas, en las cuales se establecen limitaciones en la explotación, uso o aprovechamiento de una porción o la totalidad de las aguas disponibles, con la finalidad de prestar un servicio público, implantar un programa de restauración, conservación o preservación o cuando el Estado resuelva explotar dichas aguas por causa de utilidad pública.

A continuación se presentan los ordenamientos identificados a las regiones hidrológicas en estudio, por medio de SINA 2020b.

De la figura 2-1 se pueden observar el tipo de ordenamiento que se tienen o tenían en las cuencas de la Rh 18 Balsas en 2019.



**Figura 2-1.- Tipos de Ordenamientos en la región Rh 18 Balsas. 2019 (SINA, 2020b)**

A continuación, se enlistan los decretos emitidos para la región Rh 18.

**18 de junio de 1940**

DECRETO declarando constituida la Reserva Nacional de Energía Hidráulica en las aguas del río Balsas, Estado de Guerrero", publicado en el Diario Oficial de la Federación, por el que el

Ejecutivo Federal reservó en favor de la Comisión Federal de Electricidad un volumen de seis mil, trescientos siete millones, doscientos mil metros cúbicos anuales, provenientes del tramo comprendido desde un lugar situado a 50 kilómetros aguas arriba del puente del ferrocarril del río Balsas, en el Municipio de Arcelia, Guerrero, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

### **30 de octubre de 1956**

DECRETO que declara constituida en favor de la Comisión del Tepalcatepec, para generación de energía, reserva nacional de energía hidráulica las aguas del río Balsas, en el tramo que se indica, entre los Estados de Guerrero y Michoacán"; publicado en el Diario Oficial de la Federación, por el que se declara reserva de agua para la generación de energía hidráulica, hasta por doce mil, seiscientos catorce millones, cuatrocientos mil metros cúbicos, con las salvedades que en el mismo se señalan.

### **25 de agosto de 1958**

DECRETO que declara constituida la Reserva Nacional de Energía Hidráulica, en las aguas de los ríos Balsas y Amacuzac", publicado en el Diario Oficial de la Federación, por el que se reserva un volumen total de 13,610,320,000 para la generación de energía hidráulica con las salvedades que en el mismo se señalan.

### **2 de febrero de 1966**

ACUERDO que declara la veda por tiempo indefinido, para el otorgamiento de concesiones de agua del Río Balsas y de todos sus afluentes y subafluentes que constituyen su cuenca tributaria", publicado en el Diario Oficial de la Federación el, mismo que declara veda, por tiempo indefinido para el otorgamiento de concesiones de aguas del río citado y de todos los afluentes y subafluentes que constituyen su cuenca tributaria, desde su origen en el Estado de Puebla, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, dejando vigentes las reservas que han quedado citadas en los instrumentos anteriores.

### **7 de diciembre de 2007**

Que la escasez del recurso hídrico en la Región Hidrológica del río Balsas quedó confirmada con los estudios de disponibilidad cuyos resultados se dieron a conocer a través del ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas del Río Alto Atoyac, Río Amacuzac, Río Tlapaneco, Río Nexapa, Río Mixteco, Río Bajo Atoyac, Río Cutzamala, Río Medio Balsas, Río Cupatitzio, Río Tacámbaro, Río Tepalcatepec, Río Bajo Balsas, Río Paracho-Nahuatzen, Río Zirahuén y Río Libres Oriental, mismos que forman parte de la Región Hidrológica número 18 Balsas" publicado en el Diario Oficial de la Federación.

Que la disponibilidad del agua existente en la Región Hidrológica número 18 Balsas, así como su distribución en las 15 Cuencas que integran la misma, se determinó con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, Conservación del recurso agua, que establece las

especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, misma que toma como base los volúmenes de extracción, recarga y escurrimiento;

Que en la realización de los estudios técnicos antes referidos, la Comisión Nacional del Agua dio participación a los usuarios a través del Consejo de Cuenca del Río Balsas, cuyos resultados se dieron a conocer en la sesión celebrada el día 16 de abril de 2010, en la Ciudad de Uruapan, Michoacán, mismos que se publicaron en el Diario Oficial de la Federación el 26 de enero de 2011 y en los periódicos de mayor circulación en los Estados de México, Jalisco, Morelos, Tlaxcala, Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Puebla, el día 27 del mismo mes y año.

**ARTÍCULO SÉPTIMO.-** Para efectos del presente Decreto, se determina como zona de veda aquella que ocupa las Cuencas hidrológicas que conforman la Región Hidrológica número 18 Balsas, cuyos límites fueron publicados en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 2007, en el "ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas del Río Alto Atoyac, Río Amacuzac, Río Tlapaneco, Río Nexapa, Río Mixteco, Río Bajo Atoyac, Río Cutzamala, Río Medio Balsas, Río Cupatitzio, Río Tacámbaro, Río Tepalcatepec, Río Bajo Balsas, Río Parachonahuatzen, Río Zirahuén y Río Libres Oriental, mismos que forman parte de la Región Hidrológica número 18 Balsas".

**ARTÍCULO OCTAVO.-** Las bases y disposiciones que deberá adoptar la Comisión Nacional del Agua en materia del presente Decreto, cuando por causa de utilidad pública se otorguen concesiones o asignaciones son las siguientes: La Comisión Nacional del Agua podrá asignar, por Estado, volúmenes de aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas a que se refiere el presente Decreto hasta por los volúmenes siguientes.

| <b>ESTADO</b> | <b>VOLUMEN<br/>metros cúbicos por<br/>año</b> | <b>ESTADO</b> | <b>VOLUMEN<br/>metros cúbicos por<br/>año</b> |
|---------------|---|---------------|---|
| México        | 68'403,500                                    | Guerrero      | 86'711,150                                    |
| Jalisco       | 564,350                                       | Michoacán     | 57'757,750                                    |
| Morelos       | 53'682,550                                    | Oaxaca        | 21'652,600                                    |
| Tlaxcala      | 2'100,000                                     | Puebla        | 41'775,000                                    |

**ARTÍCULO DÉCIMO.-** El volumen máximo de agua que puede utilizarse es el disponible del Río Bajo Balsas, mismo que asciende a 10,859.5 millones de metros cúbicos, los cuales pueden aprovecharse únicamente aguas abajo de la Presa José María Morelos (La Villita); así como el volumen que resulte de los ajustes realizados a los títulos de concesión otorgados a la Comisión Federal de Electricidad conforme a las reservas que se mencionan en el presente Decreto.

### **30 de octubre de 1956**

DECRETO que declara constituida Reserva Nacional de Energía Hidráulica las aguas mansas del río Xoloatl, en el lugar que se indica, en el Municipio de Chignautla, Pue.

**PRIMERO.**-Se declara constituida Reserva Nacional de Energía Hidráulica de aguas mansas del río Xoloatl, desde su nacimiento en el manantial denominado Chignautla, jurisdicción del Municipio de Chignautla, Estado de Puebla, hasta cinco kilómetros aguas abajo del citado manantial.

**SEGUNDO.**-La cantidad de agua que aprovechará la Comisión Federal de Electricidad será la de 1,100 litros por segundo, constantes, durante todo el año, hasta completar un volumen anual de 34.689,600 metros cúbicos, en función directa de los derechos que ampara el título de concesión, de 13 de septiembre de 1937, para utilizar aguas del río Xoloatl mediante obras ya construidas y en uso, jurisdicción del Municipio de Chignautla, Estado de Puebla.

**TERCERO.**-De conformidad con la fracción II del artículo 6o. del decreto de 11 de enero de 1949, que establece bases para el funcionamiento de la Comisión Federal de Electricidad, esta reserva que se constituye pasará, desde luego, a formar parte de su patrimonio.

### **19 de diciembre de 1951**

DECRETO que declara constituida en favor de la Comisión del Tepalcatepec, para generación de energía, reserva nacional de energía hidráulica las aguas del río Balsas, en el tramo que se indica, entre los Estados de Guerrero y Michoacán.

Que por acuerdos de fechas 3 de junio de 1948 y 3 de diciembre de 1954, la Comisión del Tepalcatepec, quedó facultada para efectuar los estudios y proyectos necesarios para el aprovechamiento, en beneficio de la nación, de los criaderos ferríferos de Las Truchas, Mich., incluyendo el establecimiento de una planta siderúrgica, con todas las instalaciones y obras requeridas para la explotación conveniente de los citados criaderos.

Que la situación geográfica de Las Truchas tan cercana al río Balsas, el cual es una fuente de energía hidroeléctrica abundante y barata, así como alejada de las cuencas carboníferas del país, técnica y económicamente impone la conveniencia de que el proceso siderúrgico sea & base de hornos eléctricos.

**ARTICULO PRIMERO.**-Se declara constituida en favor de la Comisión del Tepalcatepec, para generación de energía, reserva nacional de energía hidráulica de las aguas del río Balsas en el tramo comprendido entre el cañón de Churumuco y el vértice superior del delta del propio río Balsas, que sirve de límite entre los Estados de Guerrero y Michoacán, en la inteligencia de que las aguas reservadas podrán ser aprovechadas en los riegos que se requieran en la cuenca alimentadora y en el tramo reservado, para satisfacer las necesidades de las comunidades agrícolas que radican en la región.

**ARTICULO SEGUNDO.**--El gasto hidráulica que se aprovechará será hasta de 400 (cuatrocientos) metros cúbicos por segundo, continuos durante todo el año, hasta completar un volumen máximo anual de 12,614.400, 000 M<sup>3</sup>. (Doce mil seiscientos catorce millones, cuatrocientos mil metros cúbicos).

**ARTICULO TERCERO.**--El plazo dentro del cual la Comisión del Tepalcatepec resolverá si lleva a cabo el aprovechamiento de que se trata y la forma de efectuarlo será de 10 (diez) años contados a partir de esta fecha.

CONSIDERANDO que es conveniente la creación de la Reserva Nacional de Energía Hidráulica en las aguas del río Balsas, en el Estado de Guerrero, de acuerdo con los estudios llevados a cabo por las Secretarías de la Economía Nacional y Agricultura y Fomento, con el propósito de dotar a la zona central del país, así como a los Estados de Guerrero, Michoacán y Morelos, con energía eléctrica suficiente y a bajo precio para fomentar el desarrollo de industrial y agrícola de dichas regiones; ha tenido a bien expedir el siguiente.

**30 de agosto de 1934**

DECRETO que declara constituida la Reserva Nacional de Energía Hidráulica en las aguas del río Balsas, Estado de Guerrero.

**ARTICULO 1;** Se declara constituida la reserva Nacional de Energía Hidráulica en las aguas del río Balsas, en el tramo comprendido desde un lugar situado a 50 kms, aguas arriba del puente del Ferrocarril de Balsas, en el Municipio de Arcelia, Gro., hasta su desembocadura en el océano Pacífico, en la jurisdicción del Municipio de La Unión, Gro.

**ARTICULO 2;** La cantidad de agua que se utilizará será de 200,000 l.p.s. (doscientos mil l.p.s.), hasta completar un volumen anual de 6,307.200, 000 metros, cúbicos. (Seis mil trescientos siete millones, doscientos mil metros cúbicos).

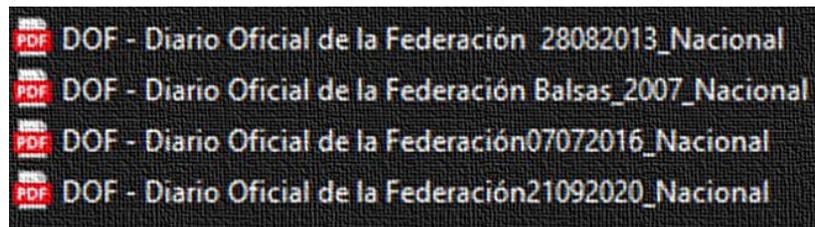
**ARTICULO 3;** De conformidad con el artículo VII fracción II, de la Ley de 14 de agosto de 1937, que creó la Comisión Federal de Electricidad, la reserva que se constituye pasará desde luego a ser patrimonio de dicho organismo.

**ARTICULO 4;** La Comisión Federal de Electricidad resolverá dentro del plazo de dos años a partir de la vigencia de este Decreto, si llevará acabo el aprovechamiento y si lo hará directamente o por medio de alguna de las instituciones que organice de conformidad con la ley invocada.

#### **6.4 Evolución de la disponibilidad hídrica superficial de la cuenca de la región hidrológica 18 Balsas al 2020.**

Para la Rh 18 Balsas se han emitido 4 estudios de disponibilidad, siendo estos de 2007, 2013, 2016 y 2020.

En la siguiente figura se muestran los estudios publicados en el Diario Oficial de la Federación en formato pdf, los cuales se agregan en el Anexo Estudios de disponibilidad.



**Figura 3-1.-Estudios de disponibilidad para la Región hidrológica 18 Balsas en pdf.**

En la Figura 3-1, se muestra la información contenida en las publicaciones del DOF para cada año emitido. Se capturaron los valores contenidos en cada publicación.

| A                             | B   | C         | D         | E         | F         | G     | H     | I         | J         | K         | L              |
|-------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| Cuenca                        | Nombre y descripción  | Cp        | Ar        | Uc        | R         | Im    | Ex    | Ab        | Rxy       | Ab Rxy    | Clasificación  |
| 1801                          | Río Alto Atoyac: Desde su nacimiento, hasta la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo)   | 448.9     | 0         | 403       | 244.2     | 0     | 316.9 | -75.8     | 0         | -75.8     | Déficit        |
| 1802                          | Río Amacuzac: Desde su nacimiento, hasta la EH Atenango del Río   | 2,102.40  | 0         | 1,053.40  | 189.1     | 0     | 6     | 1,232.10  | 1,537.80  | -305.7    | Déficit        |
| 1803                          | Río Tlapaneco: Desde su nacimiento, hasta la EH Ixcamilpa   | 1,040.90  | 0         | 18        | 4.5       | 0     | 0     | 1,027.50  | 1,282.40  | -254.9    | Déficit        |
| 1804                          | Río Nexapa: Desde su nacimiento, hasta la EH Sta. María Coetzala  | 497.1     | 0         | 744.7     | 193.5     | 97.9  | 0     | 43.8      | 54.6      | -10.9     | Déficit        |
| 1805                          | Río Mixteco: Desde su nacimiento, hasta la EH El Fraile   | 874.3     | 0         | 93.1      | 36.7      | 0     | 3.7   | 814.3     | 1,016.40  | -202      | Déficit        |
| 1806                          | Río Bajo Atoyac: Desde donde se localizan la presa Manuel A. Camacho (Valsequillo) y la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo)                                | 423.8     | 3,117.60  | 301.3     | 33.7      | 219   | 0     | 3,492.90  | 4,434.40  | -941.5    | Déficit        |
| 1807                          | Río Cutzamala: Desde el nacimiento del Río Zitácuaro, hasta la EH El Gallo  | 2,246.50  | 0         | 3,595.50  | 3,392.2   | 0     | 59.2  | 1,512.00  | 1,919.50  | -407.5    | Déficit        |
| 1808                          | Río Medio Balsas: Desde donde se localizan las EH San Juan Tetelcingo y El Gallo, hasta la EH La Pastoria   | 3,921.30  | 5,004.90  | 4,937.50  | 4,528.10  | 6     | 86    | 8,448.80  | 12,076.70 | -3,627.90 | Déficit        |
| 1809                          | Río Cupatitzio: Desde su nacimiento, hasta la EH La Pastoria  | 1,118.60  | 0         | 1,834.50  | 1,148.60  | 0     | 0     | 432.7     | 618.4     | -185.8    | Déficit        |
| 1810                          | Río Tacámbaro: Desde el nacimiento de corrientes perennes, hasta la EH Los Pinzones   | 917.9     | 0         | 223.5     | 67.1      | 0     | 0     | 761.4     | 1,088.40  | -327      | Déficit        |
| 1811                          | Río Tepalcatepec: Desde el nacimiento del Río Quitupan, hasta la EH Los Panchos   | 1,734.00  | 0         | 1,646.80  | 731.9     | 0     | 19.6  | 799.5     | 1,142.80  | -343.3    | Déficit        |
| 1812                          | Río Bajo Balsas: Desde donde se localizan las EH La Caimanera, La Pastoria, Los Pinzones y Los Panchos  | 1,261.10  | 10,442.30 | 16,122.10 | 15,885.10 | 0     | 647.3 | 10,859.60 | 0         | 10,859.60 | Disponibilidad |
| 1813                          | Río Paracho-Nahuatzen (cuenca cerrada)  | 83.2      | 0         | 0         | 0         | 0     | 0     | 83.1      | 350       | -1.9      | Déficit        |
| 1814                          | Río Zirahuén (cuenca cerrada)   | 40.2      | 0         | 3         | 1.5       | 0     | 0     | 38.7      | 350       | -16.3     | Déficit        |
| 1815                          | Río Libres Oriental: Desde el nacimiento del Arroyo Xonecuila y los ríos La Barranca y La Malinche, hasta su descarga en el Lago de Totolcingo (cuenca cerrada) | 346.3     | 0         | 6.6       | 2.4       | 0     | 0     | 342.1     | 350       | -7.9      | Déficit        |
| Totales Región Hidrológica 18 |   | 17,056.50 |           | 30,982.90 | 26,458.40 | 322.9 | 794.9 |           |           |           |                |

**Figura 3-2.- Tablas en formato Excel de la Región hidrológica 18 Balsas año 2007.**

| A      | B  | C         | D        | E         | F         | G     | H     | I     | J      | K        | L         | M                    | N        | O                 |
|--------|--|-----------|----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|--------|----------|-----------|----------------------|----------|-------------------|
| Cuenca | Nombre y descripción   | Cp        | Ar       | Uc        | R         | Im    | Ex    | Ev    | Av     | Ab       | Ray       | Ab - R <sub>ay</sub> | D        | R <sub>ay</sub> 2 |
| 1801   | Río Alto Atoyac: Desde su nacimiento, hasta la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo)  | 435.7     | 0        | 435.3     | 253.1     | 0     | 316.9 | 48.9  | 0      | -112.3   | 0         | -112.3               | 0        | Déficit           |
| 1802   | Río Amacuzac: Desde su nacimiento, hasta la EH Atenango del Río  | 2,010.90  | 0        | 1,111.10  | 207.2     | 0     | 6     | 0     | 0      | 1,101.00 | 1,572.70  | -471.8               | 0        | Déficit           |
| 1803   | Río Tlapaneco: Desde su nacimiento, hasta la EH Ixcamilpa  | 1,002.40  | 0        | 18.9      | 4.7       | 0     | 0     | 0     | 0      | 988.2    | 1,411.60  | -423.4               | 0        | Déficit           |
| 1804   | Río Nexapa: Desde su nacimiento, hasta la EH Sta. María Coetzala   | 498       | 0        | 774.7     | 197.3     | 97.9  | 0     | 0     | 0      | 18.6     | 26.6      | -8                   | 0        | Déficit           |
| 1805   | Río Mixteco: Desde su nacimiento, hasta la EHEI Fraile   | 828.9     | 0        | 110.3     | 38.6      | 0     | 0     | 3.7   | 0      | 753.6    | 1,076.50  | -322.9               | 0        | Déficit           |
| 1806   | Río Bajo Atoyac: Desde donde se localizan la presa Manuel A. Camacho (Valsequillo)   | 426.6     | 2,861.40 | 345.5     | 38.2      | 219   | 0     | 0     | 0      | 3,193.70 | 4,718.80  | -1,519.10            | 0        | Déficit           |
| 1807   | Río Cutzamala: Desde el nacimiento del Río Zitácuaro, hasta la EHEI Gallo  | 2,189.70  | 0        | 3,611.80  | 3,399.00  | 0     | 472   | 58    | 0      | 1,466.90 | 2,133.80  | -686.9               | 0        | Déficit           |
| 1808   | Río Medio Balsas: Desde donde se localizan las EH San Juan Tetelcingo y El Gallo   | 3,893.10  | 4,646.60 | 4,938.20  | 4,528.40  | 6     | 0     | 86.3  | -7.3   | 8,056.80 | 14,263.80 | -6,206.90            | 0        | Déficit           |
| 1809   | Río Cupatitzio: Desde su nacimiento, hasta la EH La Pastoría   | 1,043.30  | 0        | 1,864.20  | 1,161.00  | 0     | 0     | 0     | 0      | 340.1    | 602.1     | -262                 | 0        | Déficit           |
| 1810   | Río Tacámbaro: Desde el nacimiento de corrientes perennes, hasta la EH Los Pinos   | 888.3     | 0        | 281.4     | 72.9      | 0     | 0     | 0     | 0      | 679.9    | 1,203.70  | -523.8               | 0        | Déficit           |
| 1811   | Río Tepalcatepec: Desde el nacimiento del Río Quitupan, hasta la EH Los Panche   | 1,664.60  | 0        | 1,665.00  | 733.8     | 0     | 0     | 19.3  | 0      | 714.1    | 1,264.30  | -550.1               | 0        | Déficit           |
| 1812   | Río Bajo Balsas: Desde donde se localizan las EH La Caimanera, La Pastoría, Los  | 1,397.10  | 9,790.90 | 19,267.80 | 17,603.40 | 0     | 0     | 647.3 | -108   | 8,990.30 | 0         | 8,990.30             | 8,990.30 | Disponibilidad    |
| 1813   | Río Paracho-Nahuatzen (cuenca cerrada)   | 90.1      | 0        | 0.01      | 0         | 0     | 0     | 0     | 0      | 90.1     | 90.1      | 0                    | 0        | Déficit           |
| 1814   | Río Zirahuén (cuenca cerrada)  | 52.2      | 0        | 3         | 1.5       | 0     | 0     | 0     | 0      | 50.6     | 55        | -4.4                 | 0        | Déficit           |
| 1815   | Río Libres Oriental: Desde el nacimiento del Arroyo Xonecuila y los ríos La Barranca y La Malinche, hasta su descarga en el Lago de Totolcingo (cuenca | 384.5     | 0        | 6.5       | 2.4       | 0     | 0     | 0     | 0      | 380.4    | 380.5     | -0.1                 | 0        | Déficit           |
|        | Totales Región Hidrológica 18  | 16,805.30 |          | 34,433.60 | 28,247.50 | 322.9 | 794.9 | 863.5 | -115.3 |          |           |                      | 8,990.30 |                   |
|        | Valores en millones de metros cúbicos  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | <b>ECUACIONES</b>  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | $Ab = Cp + Ar + R + Im - (Uc + Ev + Ex + Av)$  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | $D = Ab - Ray$   |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | <b>SIMBOLOGÍA</b>  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | Ar.- Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba   |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | Uc.- Volumen anual de extracción de agua superficial   |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | R.- Volumen anual de retornos  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | Im.- Volumen anual de importaciones  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | Ex.- Volumen anual de exportaciones  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | Ev.- Volumen anual de evaporación en embalses  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | Av.- Volumen anual de variación de almacenamiento en embalses  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo   |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | Ray.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica  |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |
|        | EH.- Estación hidrométrica   |           |          |           |           |       |       |       |        |          |           |                      |          |                   |

Figura 3-3.- Tablas en formato Excel de la Región hidrológica 18 Balsas año 2013.

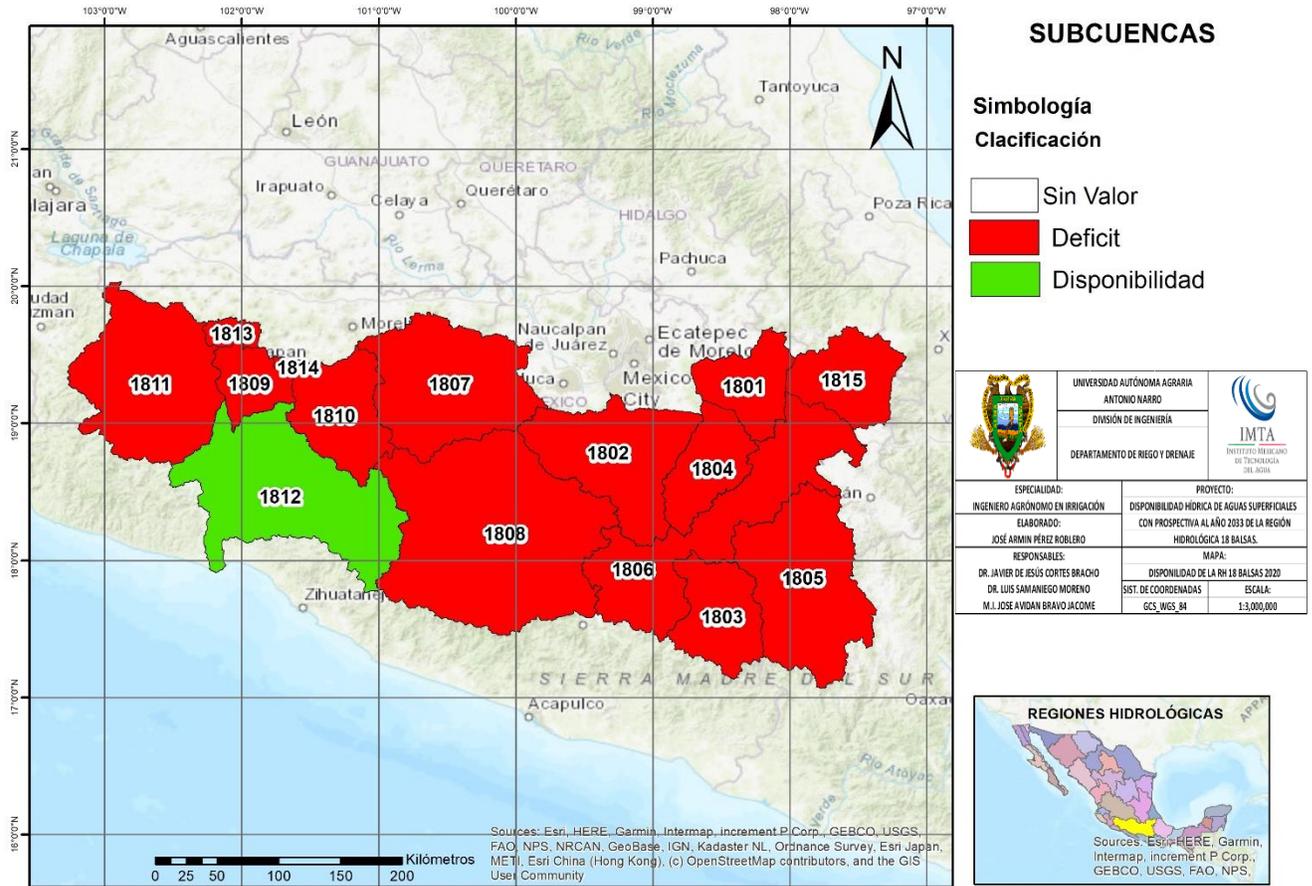
|    | A   | B   | C         | D         | E         | F      | G   | H         | I       | J       | K       | L        | M        | N         |
|----|---|---|-----------|-----------|-----------|--------|---|-----------|---------|---------|---------|----------|----------|-----------|
| 1  | Cuenca  | Nombre y descripción  | Cp        | Ar        | Uc (a)    | Uc (b) | Uc (c)  | R         | Im      | Ex      | Ev      | Av       | Ab       | Rxy       |
| 2  | 1801  | Río Alto Atoyac: Desde su nacimiento, hasta la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo)   | 469.701   | 0         | 409.865   | 0      | 0   | 293.482   | 0       | 311.489 | 49.574  | 0        | 7.745    | 0         |
| 3  | 1802  | Río Amacuzac: Desde su nacimiento, hasta la EH Atenango del Río   | 2.184.36  | 0         | 1.051.18  | 0      | 0   | 211.182   | 0       | 6       | 0       | 0        | 1.338.36 | 1.638.76  |
| 4  | 1803  | Río Tlapaneco: Desde su nacimiento, hasta la EH Ixcamilpa   | 1.005.50  | 0         | 34.928    | 0      | 0   | 17.256    | 0       | 0       | 0       | 0        | 987.828  | 1.209.55  |
| 5  | 1804  | Río Nexapa: Desde su nacimiento, hasta la EH Sta. María Coetzala  | 349.925   | 0         | 575.584   | 0.152  | 0   | 133.055   | 97.918  | 0       | 0       | 0        | 5.161    | 6.319     |
| 6  | 1805  | Río Mixteco: Desde su nacimiento, hasta la EH El Fraile   | 841.508   | 0         | 102.406   | 0.008  | 0   | 45.155    | 0       | 0       | 3.714   | 0        | 780.535  | 955.726   |
| 7  | 1806  | Río Bajo Atoyac: Desde donde se localizan la presa Manuel A. Camacho (Valsequillo) y las EH Atenango d  | 833.975   | 3.111.89  | 274.096   | 0      | 0   | 43.448    | 213.571 | 0       | 0       | 0        | 3.928.79 | 4.872.12  |
| 8  | 1807  | Río Cutzamala: Desde el nacimiento del Río Zihácuaro, hasta la EH El Gallo  | 2.175.06  | 0         | 3.795.68  | 0.54   | 0   | 3.499.28  | 0       | 354.001 | 57.22   | 0        | 1.466.90 | 1.819.11  |
| 9  | 1808  | Río Medio Balsas: Desde donde se localizan las EH San Juan Tetelcingo y El Gallo, hasta la EH La Caiman   | 3.146.02  | 5.395.68  | 4.790.98  | 0      | 0   | 4.375.27  | 6       | 0       | 86.257  | -7.329   | 8.053.07 | 11.155.98 |
| 10 | 1809  | Río Cupatitzio: Desde su nacimiento, hasta la EH La Pastoría  | 1.191.78  | 0         | 1.925.48  | 11.287 | 0   | 1.162.18  | 0       | 0       | 0       | 0        | 417.191  | 577.938   |
| 11 | 1810  | Río Tacámbaro: Desde el nacimiento de corrientes perennes, hasta la EH Los Pinzanes   | 931.577   | 0         | 224.113   | 0.004  | 0   | 81.988    | 0       | 0       | 0       | 0        | 789.448  | 1.093.63  |
| 12 | 1811  | Río Tepalcatepec: Desde el nacimiento del Río Quitupan, hasta la EH Los Panches   | 1.862.70  | 0         | 1.611.76  | 0.562  | 0   | 753.373   | 0       | 0       | 16.051  | 0        | 987.706  | 1.368.28  |
| 13 | 1812  | Río Bajo Balsas: Desde donde se localizan las EH La Caimanera, La Pastoría, Los Pinzanes y Los Panche   | 1.371.05  | 10.247.41 | 15.555.77 | 0.037  | 0   | 13.881.33 | 0       | 0       | 647.315 | -107.959 | 9.404.64 | 0         |
| 14 | 1813  | Río Paracho-Nahuatzen (cuenca cerrada)  | 89.578    | 0         | 0.01      | 0      | 0   | 0.001     | 0       | 0       | 0       | 0        | 89.569   | 89.608    |
| 16 | 1815  | Río Libres Oriental: Desde el nacimiento del Arroyo Xonecuila y los ríos La Barranca y La Malinche, hasta su descarga en el Lago de Totolcingo (cuenca cerrada) | 293.341   | 0         | 4.733     | 0      | 0   | 2.874     | 0       | 0       | 0       | 0        | 291.481  | 292.436   |
| 17 | Totales Región Hidrológica 18   |   | 16.797.69 |           | 30.360.13 | 12.59  | 0   | 24.501.93 | 317.489 | 671.489 | 860.13  | -115.288 |          |           |
| 21 | <b>SIMBOLOGÍA</b>   |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |
| 22 | Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural   |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |
| 23 | Ar.- Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba                                      |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |
| 24 | Uc (a).- Volumen anual de extracción de agua superficial mediante títulos inscritos actualmente en el REPGA |   |           |           |           |        | D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica |           |         |         |         |          |          |           |
| 25 | Uc (b).- Volumen anual de extracción de agua superficial de títulos en proceso de inscripción en el REPGA   |   |           |           |           |        | EH.- Estación hidrométrica  |           |         |         |         |          |          |           |
| 26 | Uc (c).- Volumen anual correspondiente a las reservas, el caudal ecológico y las zonas reglamentadas        |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |
| 27 | R.- Volumen anual de retornos   |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |
| 28 | Im.- Volumen anual de importaciones   |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |
| 29 | Ex.- Volumen anual de exportaciones   |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |
| 30 | Ev.- Volumen medio anual de evaporación en embalses   |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |
| 31 | Av.- Volumen medio anual de variación de almacenamiento en embalses   |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |
| 32 | Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo                                    |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |
| 33 | Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo   |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |
| 34 | D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica                                 |   |           |           |           |        |   |           |         |         |         |          |          |           |

**Figura 3-4.- Tablas en formato Excel de la Región hidrológica 18 Balsas año 2016.**

|    | A  | B  | C        | D         | E         | F       | G       | H         | I       | J  | K       | L       | M         | N         | O        | P        | Q              |
|----|--|--|----------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|---------|--|---------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------------|
| 1  | Cuen   | Nombre y descripción   | Cp       | Ar        | Uc (a)    | Uc (b)  | Uc (c)  | R         | Im      | Ex   | Ev      | Av      | Ab        | Rxy       | Ab - Rxy | D        | Clasificad     |
| 2  | 1801   | Río Alto Atoyac: Desde su nacimiento, hasta la presa Manuel Ávila Camacho  | 551.059  | 0         | 337.45    | 0.047   | 0.708   | 231.526   | 0       | 348.731  | 54.055  | 3.318   | 38.276    | 44.825    | -6.55    | -6.55    | Déficit        |
| 3  | 1802   | Río Amauzac: Desde su nacimiento, hasta la EH Atenango del Río   | 2,305.19 | 0         | 1112.893  | 66.493  | 45.976  | 341.085   | 0       | 6  | 13.682  | -0.036  | 1,401.27  | 1,641.04  | -239.77  | -239.77  | Déficit        |
| 4  | 1803   | Río Tlapaneco: Desde su nacimiento, hasta la EH Ixcamilpa  | 1,053.31 | 0         | 33.349    | 0       | 4.198   | 17.608    | 0       | 0  | 0       | 0       | 1033.967  | 1,210.19  | -176.82  | -176.82  | Déficit        |
| 5  | 1804   | Río Nevapa: Desde su nacimiento, hasta la EH Sta. María Coetzala   | 342.518  | 0         | 593.925   | 0       | 1.658   | 182.778   | 97.864  | 0  | 2.396   | 0       | 25.181    | 23.49     | -4.309   | -4.309   | Déficit        |
| 6  | 1805   | Río Mixteco: Desde su nacimiento, hasta la EH El Fraile  | 866.167  | 0         | 102.323   | 0.003   | 7.923   | 50.728    | 0       | 0  | 4.167   | 0       | 802.48    | 939.792   | -137.31  | -137.31  | Déficit        |
| 7  | 1806   | Río Bajo Atoyac: Desde donde se localizan la presa Manuel A. Camacho (V  | 775.087  | 3300.57   | 262.914   | 0       | 7.479   | 65.115    | 176.965 | 0  | 0       | 0       | 4,047.34  | 4,786.15  | -738.81  | -738.81  | Déficit        |
| 8  | 1807   | Río Cutzamala: Desde el nacimiento del Río Zinácuaro, hasta la EH El Gallo   | 2595.35  | 0         | 3846.193  | 126.393 | 8.972   | 2,351.03  | 0       | 484.551  | 61.178  | 94.242  | 324.85    | 384.15    | -59.30   | -59.30   | Déficit        |
| 9  | 1808   | Río Medio Balsas: Desde donde se localizan las EH San Juan Tetelcingo y E  | 3253.331 | 4372.197  | 4814.616  | 10.776  | 20.154  | 5,668.60  | 6       | 0  | 111.388 | 22.283  | 8,320.91  | 10,748.74 | -2427.83 | -2427.83 | Déficit        |
| 10 | 1809   | Río Cupatitzio: Desde su nacimiento, hasta la EH La Pastoría   | 1176.537 | 0         | 1934.451  | 0       | 14.186  | 1,223.02  | 0       | 0  | 0       | 0       | 450.982   | 582.567   | -131.59  | -131.59  | Déficit        |
| 11 | 1810   | Río Tacámbaro: Desde el nacimiento de corrientes perennes, hasta la EH L   | 967.942  | 0         | 228.652   | 0.231   | 0       | 87.297    | 0       | 0  | 0       | 0       | 826.357   | 1,067.47  | -241.11  | -241.11  | Déficit        |
| 12 | 1811   | Río Tepalcatepec: Desde el nacimiento del Río Quitupan, hasta la EH Los F  | 1957.209 | 0         | 1723.174  | 26.811  | 3.351   | 870.369   | 0       | 0  | 55.019  | 12.078  | 1007.146  | 1,301.01  | -293.86  | -293.86  | Déficit        |
| 13 | 1812   | Río Bajo Balsas: Desde donde se localizan las EH La Caimanera, La Pastori  | 2296.377 | 10605.391 | 16070.589 | 0.048   | 0.305   | 14,396.79 | 0       | 0  | 585.165 | 30.069  | 10,632.38 | 0         | 10632.38 | 10632.38 | Disponibilidad |
| 14 | 1813   | Río Paracho-Nahuatzen (cuenca cerrada)   | 89.4     | 0         | 0.01      | 0       | 0       | 0.002     | 0       | 0  | 0       | 0       | 89.392    | 89.608    | -0.217   | -0.217   | Déficit        |
| 15 | 1814   | Río Zirahuén (cuenca cerrada)  | 51.216   | 0         | 3.295     | 0       | 0       | 1.999     | 0       | 0  | 0       | 0       | 49.92     | 52.998    | -3.078   | -3.078   | Déficit        |
| 16 | 1815   | Río Libres Oriental: Desde el nacimiento del Arroyo Xoneculla y los ríos La Barranca y La Malinche, hasta su descarga en el Lago de Totolcingo (cuenca | 294.067  | 0         | 3.983     | 8.942   | 2.58    | 4.637     | 0       | 0  | 0       | 0       | 283.198   | 292.436   | -9.238   | -9.238   | Déficit        |
| 17 | Totales Región Hidrológica 18  |  | 18574.8  |           | 31067.8   | 239.743 | 117.489 | 25,492.58 | 280.829 | 839.282  | 867.05  | 161.953 |           |           |          | 10632.4  |                |
| 18 |  |  |          |           |           |         |         |           |         |  |         |         |           |           |          |          |                |
| 19 | <b>SIMBOLOGÍA</b>  |  |          |           |           |         |         |           |         |  |         |         |           |           |          |          |                |
| 20 | <b>Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural</b>   |  |          |           |           |         |         |           |         |  |         |         |           |           |          |          |                |
| 21 | <b>Ar.- Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba</b>                                      |  |          |           |           |         |         |           |         | <b>Av.- Volumen medio anual de variación de almacenamiento en embalses</b>         |         |         |           |           |          |          |                |
| 22 | <b>Uc (a).- Volumen anual de extracción de agua superficial mediante títulos inscritos actualmente en el REPGA</b> |  |          |           |           |         |         |           |         | <b>Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo</b>    |         |         |           |           |          |          |                |
| 23 | <b>Uc (b).- Volumen anual de extracción de agua superficial de títulos en proceso de inscripción en el REPGA</b>   |  |          |           |           |         |         |           |         | <b>Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo</b>                         |         |         |           |           |          |          |                |
| 24 | <b>Uc (c).- Volumen anual correspondiente a las reservas, el caudal ecológico y las zonas reglamentadas</b>        |  |          |           |           |         |         |           |         | <b>D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica</b> |         |         |           |           |          |          |                |
| 25 | <b>R.- Volumen anual de retornos</b>   |  |          |           |           |         |         |           |         | <b>EH.- Estación hidrométrica</b>  |         |         |           |           |          |          |                |
| 26 | <b>Im.- Volumen anual de infiltraciones</b>  |  |          |           |           |         |         |           |         |  |         |         |           |           |          |          |                |

**Figura 3-5.- Tablas en formato Excel de la Región hidrológica 18 Balsas año 2020.**

La Figura 3.6 muestra las cuencas hidrográficas de la región que presentan disponibilidad de agua superficial en color verde y, en color rojo las cuencas con déficit, de acuerdo al estudio de disponibilidad del año 2020.



**Figura 3-6.- Región Hidrológica 18 Balsas, Disponibilidad al 2020.**

De acuerdo al historial de los estudios de disponibilidad de agua superficial de los distintos años, se puede apreciar una tendencia al año 2033 a la baja, con un volumen calculado mediante la función de PRONÓSTICO LINEAL (Figura 3-7). Se espera que la suma de los volúmenes disponibles de cada cuenca para toda la Rh 18 sea de 8,357 hm<sup>3</sup> anuales.

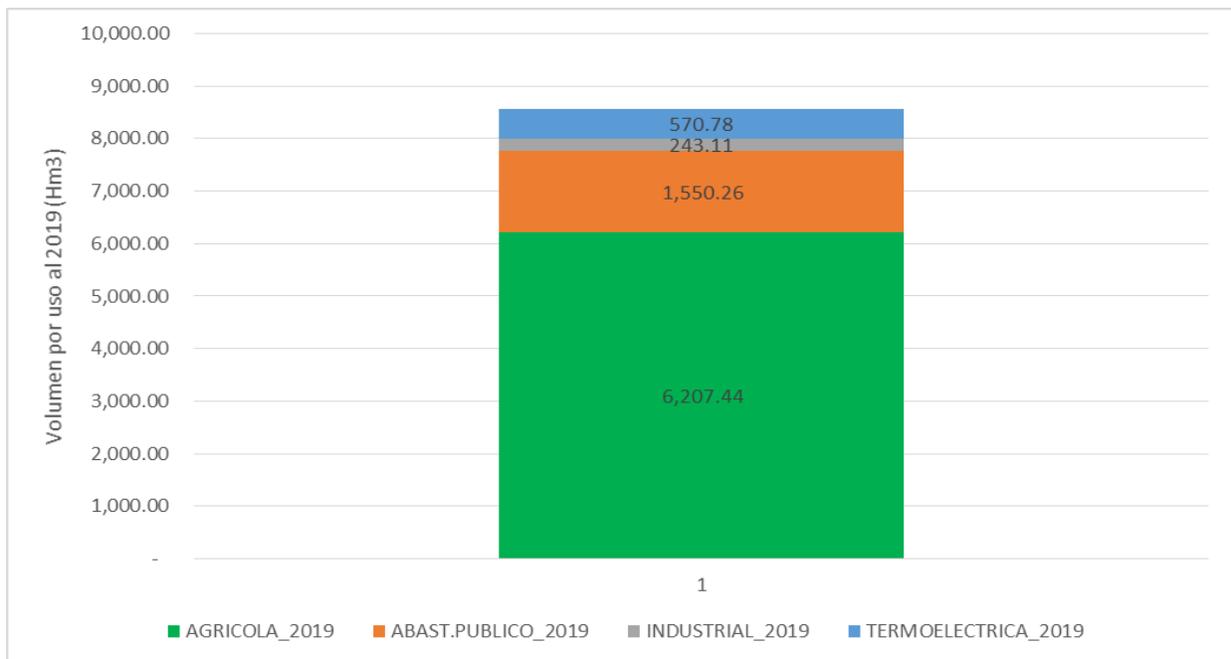
| Q7 |                    | =PRONOSTICO(Q\$6,C7:O7,C\$6:O\$6) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |           |           |           |          |         |  |  |  |
|----|--------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|--|--|--|
|    | A                  | B                                 | C       | D       | E       | F       | G       | H       | I       | J       | K       | L         | M         | N         | O        | Q       |  |  |  |
| 1  | Región hidrológica | Balsas                            |         |         |         |         |         |         |         |         |         |           |           |           |          |         |  |  |  |
| 2  | Parámetro          | DisponibilidadMediaAnual          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |           |           |           |          |         |  |  |  |
| 3  | Unidad de medida   | hm³                               |         |         |         |         |         |         |         |         |         |           |           |           |          |         |  |  |  |
| 4  |                    |                                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |           |           |           |          |         |  |  |  |
| 5  | Suma de Cantidad   |                                   | Año     |         |         |         |         |         |         |         |         |           |           |           |          |         |  |  |  |
| 6  | Clave cuenca       | Nombre de cuenca                  | 2007    | 2008    | 2009    | 2010    | 2011    | 2012    | 2013    | 2014    | 2015    | 2016      | 2017      | 2018      | 2020     | 2033    |  |  |  |
| 7  | 1801               | Río Alto Atoyac                   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -7.7446   | -7.7446   | -7.7446   | -6.549   | -16.2   |  |  |  |
| 8  | 1802               | Río Amacuzac                      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -300.395  | -300.395  | -300.395  | -239.771 | -618.8  |  |  |  |
| 9  | 1803               | Río Tlapaneco                     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -221.718  | -221.718  | -221.718  | -176.82  | -456.6  |  |  |  |
| 10 | 1804               | Río Nexapa                        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -1.15836  | -1.15836  | -1.15836  | -4.309   | -5.0    |  |  |  |
| 11 | 1805               | Río Mixteco                       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -175.191  | -175.191  | -175.191  | -137.313 | -358.9  |  |  |  |
| 12 | 1806               | Río Bajo Atoyac                   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -943.335  | -943.335  | -943.335  | -738.81  | -1932.1 |  |  |  |
| 13 | 1807               | Río Cutzamala                     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -352.214  | -352.214  | -352.214  | -59.299  | -551.5  |  |  |  |
| 14 | 1808               | Río Medio Balsas                  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -3102.92  | -3102.92  | -3102.92  | -2427.83 | -6353.4 |  |  |  |
| 15 | 1809               | Río Cupatitzio                    | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -160.747  | -160.747  | -160.747  | -131.585 | -333.7  |  |  |  |
| 16 | 1810               | Río Tacámbaro                     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -304.181  | -304.181  | -304.181  | -241.11  | -625.3  |  |  |  |
| 17 | 1811               | Río Tepalcatepec                  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -380.572  | -380.572  | -380.572  | -293.86  | -776.2  |  |  |  |
| 18 | 1812               | Río Bajo Balsas                   | 10859.5 | 10859.5 | 10859.5 | 10859.5 | 10859.5 | 10859.5 | 8990.28 | 8990.28 | 8990.28 | 9404.64   | 9404.64   | 9404.64   | 10632.4  | 7635.1  |  |  |  |
| 19 | 1813               | Río Paracho-Nahuatzen             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -0.0395   | -0.0395   | -0.0395   | -0.217   | -0.2    |  |  |  |
| 20 | 1814               | Río Zirahuén                      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -2.89     | -2.89     | -2.89     | -3.078   | -6.6    |  |  |  |
| 21 | 1815               | Río Libres Oriental               | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -0.955    | -0.955    | -0.955    | -9.238   | -8.6    |  |  |  |
| 22 | Total general      |                                   | 10859.5 | 10859.5 | 10859.5 | 10859.5 | 10859.5 | 10859.5 | 8990.28 | 8990.28 | 8990.28 | 3450.5795 | 3450.5795 | 3450.5795 | 6162.611 | -4408.0 |  |  |  |
| 23 |                    |                                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |           |           |           |          |         |  |  |  |

**Figura 3-7.- Evolución de la disponibilidad al 2033, Rh 18**

El análisis anterior arroja un primer resultado en cuanto al comportamiento del volumen de agua superficial disponible en el tiempo. Sin embargo, se debe tomar esta información con cautela, ya que las metodologías empleadas en los anteriores estudios han evolucionado y mejorado en el tiempo, por lo que puede ser un factor importante en los resultados. Por esta razón, se procedió en este trabajo, a analizar el comportamiento en el tiempo de las variables naturales y antropogénicas que influyen en el cálculo de la disponibilidad. Al obtenerse valores proyectados de estas variables, se estima el porcentaje de cambio con respecto a lo histórico, para aplicarse este porcentaje al último valor publicado en los estudios de disponibilidad 2020. En los siguientes temas se describen los resultados de las variables analizadas.

## 6.5 Usos del agua

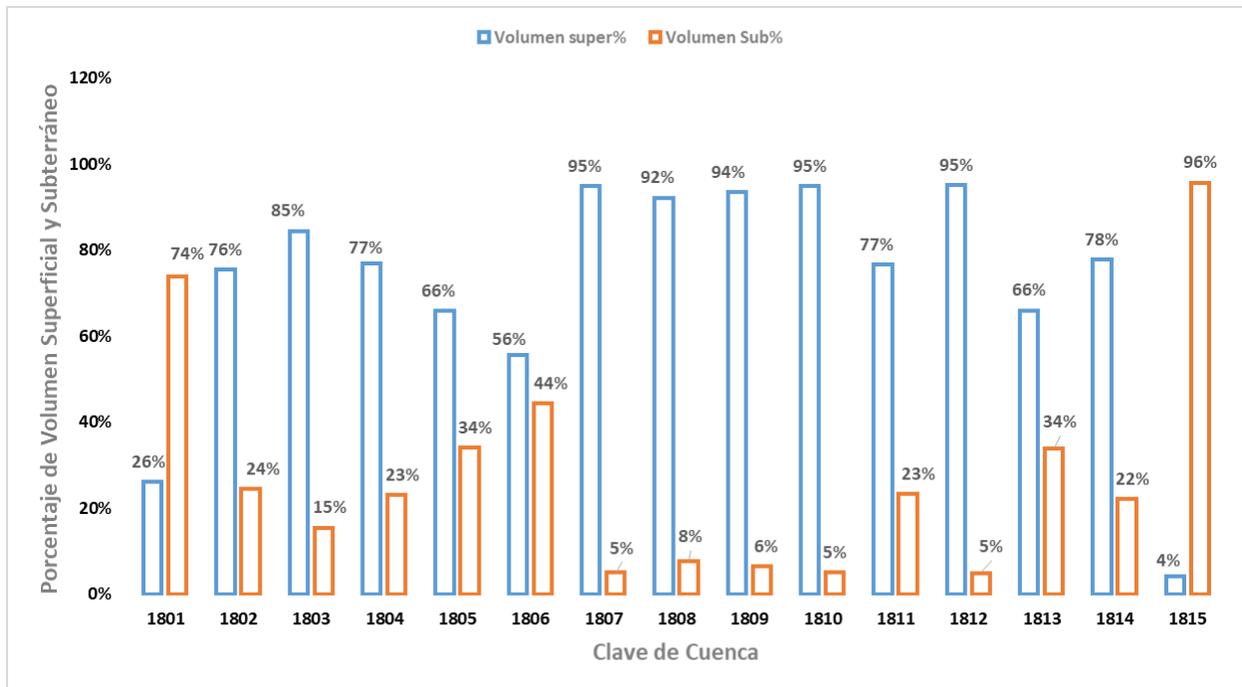
En México, la Conagua clasifica a los consumidores de agua en tres principales sectores: agrícola, abastecimiento público e industrial. La siguiente información se obtuvo de la página del Sistema de Información Nacional del Agua (SINA, 2020). Al 2019, en la RH18 se tiene que el uso consuntivo de mayor volumen es el agrícola con 6,207.44 Hm<sup>3</sup> anuales de extracción, le sigue el uso para el abastecimiento público con 1,550.25 Hm<sup>3</sup>, el uso industrial con 243.10 Hm<sup>3</sup> y por último el uso para termoeléctricas es de 570.78 Hm<sup>3</sup>.



**Figura 4-1.-Volumen de agua por uso consuntivo al 2019**

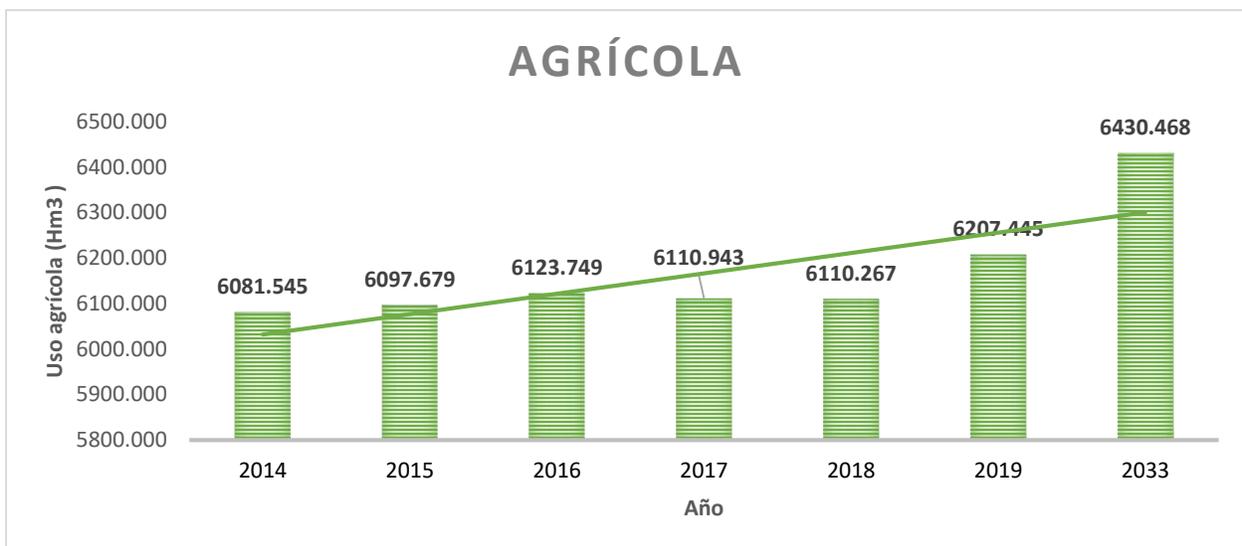
Además, el volumen de agua por uso consuntivo se divide en dos fuentes de extracción: superficial y subterránea. En la siguiente figura se observa que en la región se utiliza en mayor porcentaje el agua superficial, lo cual indica que la variable de usos consuntivos es importante para el cálculo de disponibilidad de aguas superficiales.

Sin embargo, se debe hacer notar que para la subcuenca Río Libres Oriental la mayor parte se complementa con las aguas subterráneas. En otras subcuencas donde también es importante la fuente subterránea es en las subcuencas Río Alto Atoyac, Río Bajo Atoyac y en cuencas del Río Mixteco y Río Paracho-Nahuatzen.



**Figura 4-2.- Porcentaje de contribución por tipo de fuente, 2019**

Por otro lado, se analizó el comportamiento en el tiempo de los diferentes usos (sin considerar el tipo de fuente) de 2014 a 2019 de acuerdo a SINA 2020. Se observa que, para el uso agrícola, se tiene un crecimiento de 2014 a 2019 aproximadamente del 2.1 %, por lo que si se continúa con esta tendencia a partir del 2019 se estima que para el 2033 este uso podría crecer un 3.6%.



**Figura 4-3.-Comportamiento en el tiempo del uso Agrícola**

Para el uso público urbano se aprecia un decrecimiento del 2014 al 2015, en 2016 y 2019 este volumen siguió en aumento, pero si consideramos el periodo completo de 2014 a 2019 se obtiene el crecimiento del consumo aproximado del 2%. Por otro lado, si consideramos todos los años desde 2014 hasta 2019 y se aplica la función de proyección al 2033 el crecimiento se espera sea del 6.3%.

Estos valores son referencia de toda la región hidrológica, por lo que es importante considerar que cada cuenca cuenta con su propio comportamiento, por ejemplo, el uso público urbano de la cuenca Rio Cutzamala podría crecer 166.2%.



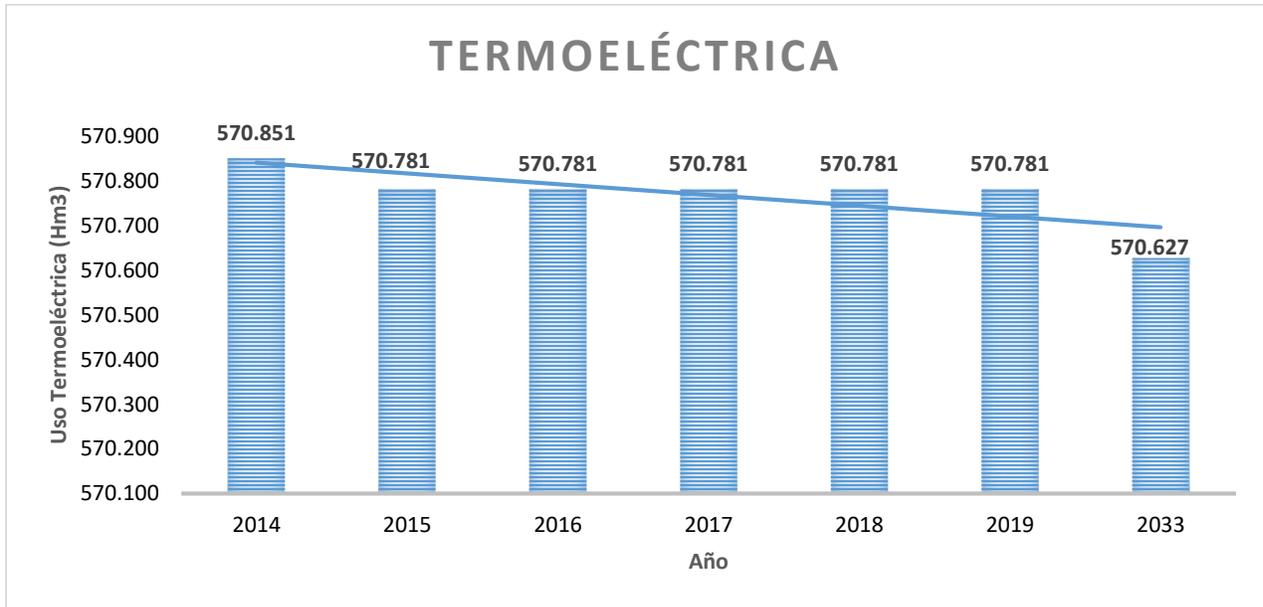
**Figura 4-4.- Comportamiento en el tiempo del uso público Urbano**

En cuanto al comportamiento del uso industrial, se ha mantenido un crecimiento de 2014 a 2019 del 13.2%. Este crecimiento del 13.2% proyectado al 2033 indica que del 2019 al 2033 podría crecer el consumo un 36.9%.



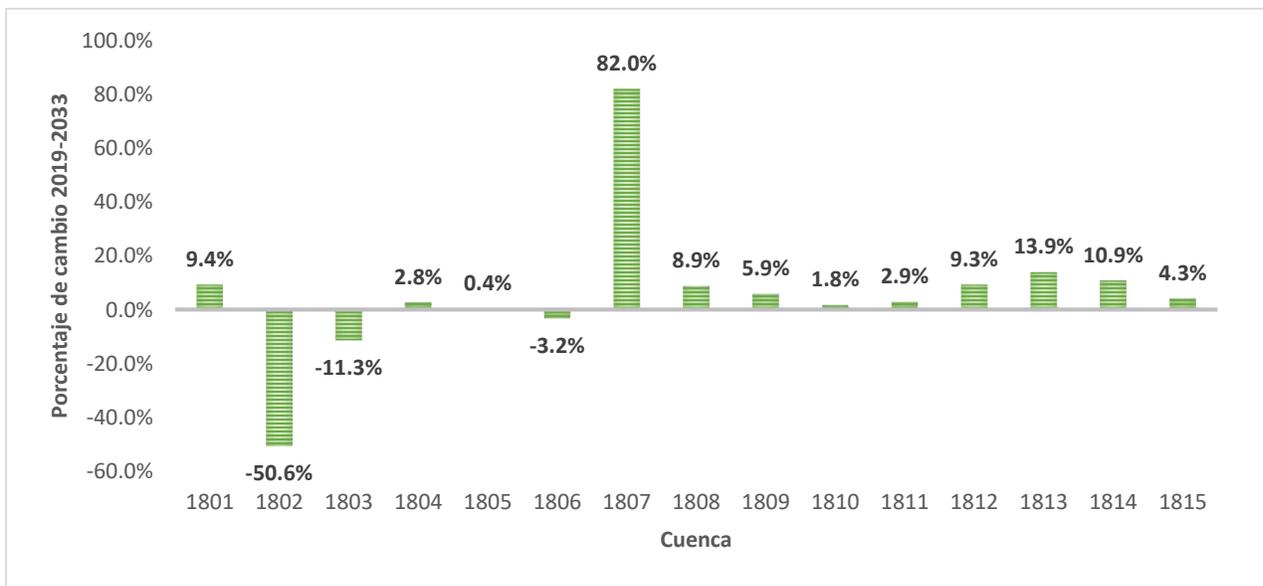
**Figura 4-5.- Comportamiento en el tiempo del uso Industrial**

El uso termoeléctrico se aprecia un decrecimiento mínimo del 0.01% desde 2014 hasta 2019, esto proyectado al 2033, para todo la Rh podría decrecer hasta un 0.03%. Tendría una diferencia mínima en cuanto al paso del tiempo. La cuenca con mayor crecimiento proyectado para este uso sería la cuenca del Río Bajo Balsas.



**Figura 4-6.- Comportamiento en el tiempo del volumen concesionado para el uso Termoeléctrico.**

Analizando el comportamiento del total del uso consuntivo, se observa que en la mayoría de las cuencas se incrementará el volumen de agua para los cuatro principales usos, en promedio se espera que se incremente un 4.8%, exceptuando algunas cuencas con una reducción.



**Figura 4-7.- Porcentaje de cambio entre 2019 y 2033 del volumen concesionado**

La gráfica anterior (Figura 4-7) indica el porcentaje de crecimiento o decremento que se pudieran tener al año 2033 si se continua con el comportamiento observado de 2014 al 2019, sin embargo y de acuerdo a la (Figura 2-1) de la sección Decretos, vedas y reservas, en la región se tienen que para la subcuencas Rio Alto Atoyac, Río Amacuzac, Rio Tlapaneco, Rio Nexapa, Rio Mixteco, Rio Bajo Atoyac, Rio Cutzamala, Rio Medio Balsas, Rio Cupatitzo, Rio Tacambaro, Rio Tepalcatepec, Rio Bajo Balsas, Rio Paracho-Nahuatzen, Rio Zirahuén, Rio Libres Oriental, existe Veda establecida en el acuerdo del 02 de Febrero de 1966, con modificaciones a la fecha por lo que para estas cuencas no se considerara crecimiento en los usos consuntivos. Y también cuenta con reserva y reglamento por lo que se revisará la variable  $Uc(c)$  publicada en el estudio de disponibilidad del año 2020, que toma en cuenta los volúmenes de agua correspondientes a reservas.

## **6.6 Precipitación y temperaturas históricas**

Se obtuvieron dos escenarios de precipitación y temperaturas, el primero fue el escenario actual, basado en el promedio histórico resultante de la información registrada de estas dos variables de 1980 hasta el valor actual, para algunas estaciones fue al 2016, 2017 o 2018. El segundo escenario se obtuvo con base en el análisis de tendencia al año 2033 de la información registrada



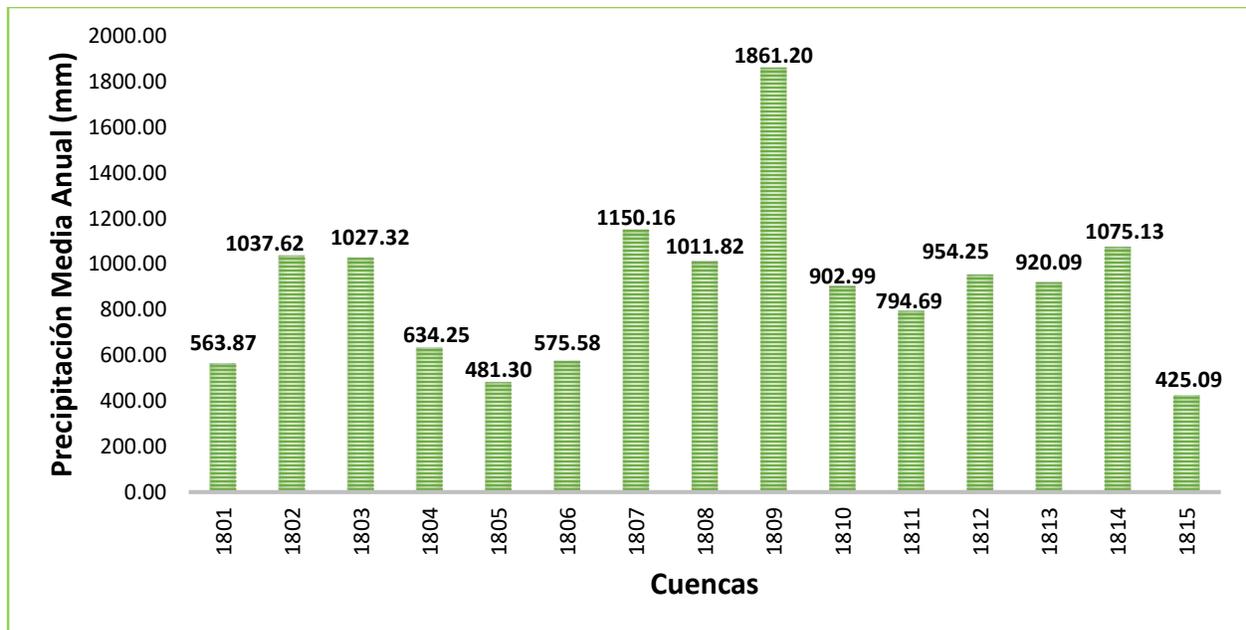
|    | A         | B                    | C    | D    | E    | F    | G    | H    | I    | J    | K    | L    | M    | N    | O    | P    | Q    | R    | S    | T    | U    | V    | W    | X    |     |
|----|-----------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 1  | Suma de   | Etiquetas de columna |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| 2  | Etiquetas | 1980                 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |     |
| 3  | 12001     | 351                  | 365  | 334  | 365  | 365  | 334  | 304  | 365  | 366  | 304  | 350  | 349  | 243  | 273  | 304  | 335  | 281  | 360  | 304  | 365  | 304  | 365  | 304  | 365 |
| 4  | 12004     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 365  | 365  | 365  | 352  | 364  | 365  | 365  | 293  | 336  | 365  | 365  | 366  | 366  | 304  | 365  | 337  | 366  | 211  |      |     |
| 5  | 12006     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 92   | 365  | 365  | 334  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 364  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 303  | 366  |      |      |     |
| 6  | 12007     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 366  | 365  | 304  | 366  | 365  | 365  | 366  | 365  |     |
| 7  | 12008     | 365                  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 364  | 365  | 366  | 273  |      |      | 213  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 366  | 365  |     |
| 8  | 12014     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 366  | 304  | 334  | 274  |      |      | 331  | 297  | 29   | 308  | 334  | 365  | 366  | 365  | 355  | 365  | 366  | 366  | 346  |     |
| 9  | 12015     | 364                  | 365  | 365  | 364  | 366  | 365  | 365  | 364  | 305  | 31   | 334  | 365  | 276  | 334  | 365  | 365  | 366  | 365  | 363  | 273  | 366  | 335  |      |     |
| 10 | 12018     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 351  | 365  | 365  | 334  | 121  | 335  | 365  | 365  | 366  | 365  | 335  | 303  | 366  | 365  | 365  | 360  | 366  | 333  |      |     |
| 11 | 12019     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 346  | 365  | 366  | 351  | 362  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 366  | 182  |     |
| 12 | 12021     | 366                  | 365  | 364  | 365  | 244  | 53   | 115  | 56   | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 365  | 210  | 341  |     |
| 13 | 12023     | 365                  | 365  | 365  | 365  | 366  | 334  | 365  | 365  | 335  | 365  | 365  | 365  | 365  | 305  | 304  | 365  | 335  | 305  | 365  | 335  | 151  | 366  | 365  |     |
| 14 | 12027     | 363                  | 365  | 365  | 354  | 366  | 365  | 365  | 365  | 365  | 365  | 365  | 365  | 365  | 365  | 365  | 365  | 307  | 320  | 365  | 365  | 366  | 366  | 365  |     |
| 15 | 12030     | 366                  | 365  | 364  | 334  | 365  | 335  | 365  | 365  | 335  | 31   | 273  | 272  | 366  |      |      | 306  | 366  | 335  | 364  | 241  | 366  | 362  |      |     |
| 16 | 12031     | 366                  | 365  | 365  | 363  | 366  | 333  | 334  | 151  | 337  | 365  | 365  | 303  | 336  | 122  | 365  | 365  |      | 23   | 231  | 182  |      |      |      |     |
| 17 | 12036     | 366                  | 358  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 364  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  |      |      | 214  | 366  | 365  | 334  | 334  | 335  | 334  |      |     |
| 18 | 12037     | 365                  | 365  | 365  | 365  | 366  | 303  | 335  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 307  | 304  | 366  | 365  |      |     |
| 19 | 12046     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 243  | 245  | 365  | 365  | 366  | 365  | 59   | 328  | 366  | 365  | 365  | 365  | 335  | 365  |      |     |
| 20 | 12047     | 366                  | 365  | 365  | 357  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 362  | 356  | 337  | 366  | 365  |      |     |
| 21 | 12048     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 365  | 362  | 365  | 362  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 214  | 365  | 365  | 365  |      |     |
| 22 | 12054     | 347                  | 346  | 337  | 120  |      | 317  | 245  | 277  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 337  | 365  | 365  | 366  | 365  |      |     |
| 23 | 12058     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 121  | 365  | 365  | 365  | 274  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 306  | 365  | 366  | 365  | 304  | 365  | 366  | 366  |      |     |
| 24 | 12060     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 364  | 365  | 365  | 365  | 364  | 334  | 366  | 334  | 304  | 212  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  |      |     |
| 25 | 12063     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 364  | 365  | 335  | 208  | 334  | 364  | 366  | 350  | 349  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 366  |      |     |
| 26 | 12077     | 358                  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 352  | 365  | 366  | 365  | 215  | 214  | 306  |      | 365  | 90   |      |      |      |     |
| 27 | 12080     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 121  | 365  | 365  | 365  | 305  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 366  | 181  | 366  |      |      |     |
| 28 | 12082     | 366                  | 361  | 364  | 360  | 366  | 365  | 364  | 341  | 342  | 334  | 334  | 365  | 306  | 273  | 184  | 184  | 92   | 304  | 365  | 365  | 366  | 365  |      |     |
| 29 | 12083     | 366                  | 365  | 364  | 365  | 305  | 275  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 273  | 245  | 365  | 366  | 365  |      |     |
| 30 | 12084     | 335                  | 365  | 364  | 365  | 356  | 365  | 240  | 334  | 335  | 215  | 335  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 300  | 182  | 365  | 335  | 365  |      |     |
| 31 | 12089     | 366                  | 365  | 364  | 365  | 335  | 365  | 365  | 365  | 244  | 31   | 153  | 243  | 304  | 215  | 365  | 120  |      |      |      |      |      |      |      |     |
| 32 | 12090     | 366                  | 359  | 364  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 366  | 365  | 305  | 365  | 366  | 365  | 214  | 365  | 365  | 366  | 365  |      |     |
| 33 | 12091     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 335  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 365  | 305  | 304  | 334  | 363  | 366  | 365  | 365  | 365  | 361  | 181  |     |
| 34 | 12092     | 366                  | 365  | 361  | 361  | 362  | 364  | 274  | 358  | 182  | 153  | 365  |      |      | 305  | 356  | 365  | 365  | 152  | 274  | 151  | 150  | 347  | 326  |     |
| 35 | 12093     | 366                  | 365  | 365  | 365  | 366  | 304  | 365  | 365  | 336  | 365  | 212  | 61   |      | 363  | 365  | 335  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  |      |     |

Figura 5-2.- Ejemplo del análisis de cantidad de registros para la variable precipitación de la Rh 18.

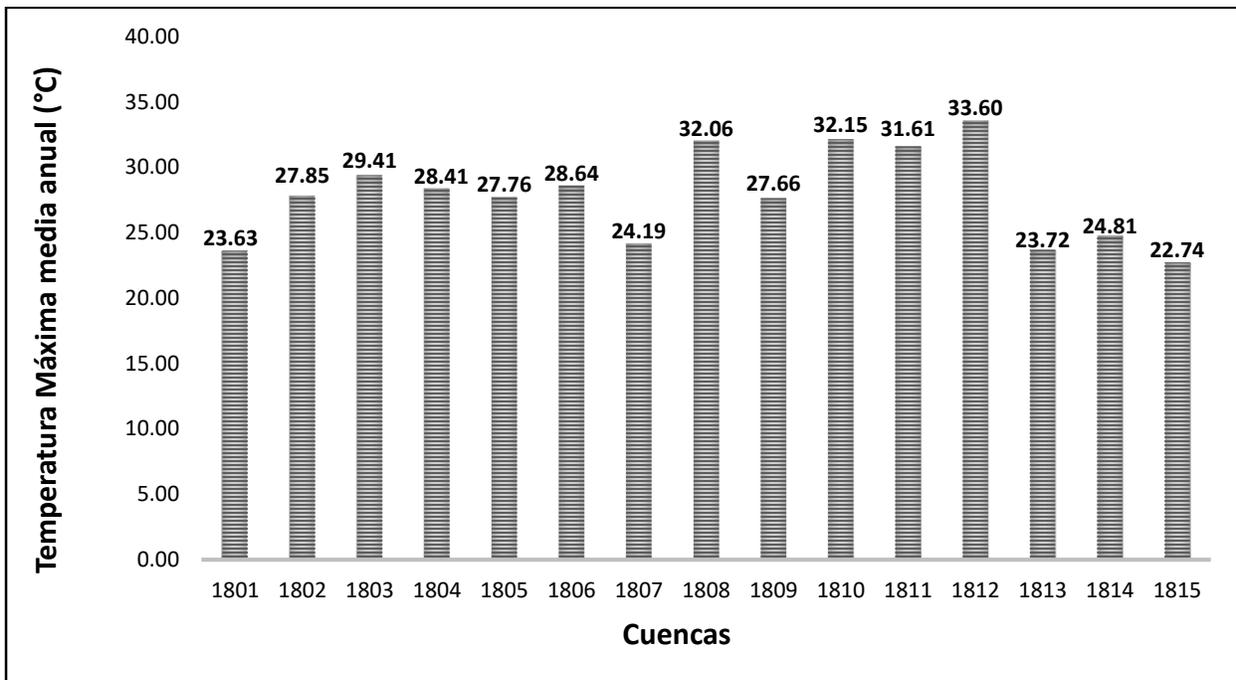
|    | A         | T                    | U      | V      | X      | Y      | Z      | AA     | AB     | AC     | AD     | AE     | AF     | AG     | AH     | AI     | AJ      | AK     | AL     | AM     | AN     | AO | AP     |
|----|-----------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|----|--------|
| 1  | Suma de   | Etiquetas de columna |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |        |        |        |        |    |        |
| 2  | Etiquetas | 19                   | 19     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20      | 20     | 20     | 20     | 20     | 20 | Cuenca |
| 3  | 21016     | 296.38               | 282.76 | 287.18 | 281.83 | 292.08 | 294.24 | 284.15 | 296.36 | 295.09 | 306.07 | 286.59 | 288.91 | 262.81 | 281.57 | 273.75 | 277.58  | 278.12 | 281.95 | 281.33 |        |    | 1801   |
| 4  | 21034     |                      |        |        |        |        | 287.73 | 279.06 | 290.60 | 290.88 | 288.36 | 283.42 | 291.93 | 276.39 | 291.20 | 286.52 | 278.62  | 283.21 | 324.05 | 311.71 |        |    | 1801   |
| 5  | 21035     | 308.45               | 298.46 | 301.04 | 296.33 | 301.89 | 305.19 | 296.71 | 309.12 | 302.77 | 304.31 | 305.45 | 325.35 | 314.82 | 323.69 | 314.52 | 314.95  | 309.17 | 309.59 | 313.26 |        |    | 1801   |
| 6  | 21046     | 283.23               |        |        |        |        |        |        |        |        | 353.53 | 291.01 | 283.61 | 256.79 | 297.56 | 299.36 | 301.00  | 341.81 | 307.09 | 300.92 |        |    | 1801   |
| 7  | 21065     | 306.32               | 293.21 | 268.77 | 288.81 | 296.76 | 300.71 | 268.07 | 303.69 | 299.43 | 297.94 | 296.34 | 304.64 | 293.04 | 303.35 | 298.01 | 300.04  | 297.28 | 295.51 | 298.67 | 307.71 |    | 1801   |
| 8  | 21078     |                      |        |        |        |        |        |        |        | 304.84 | 302.73 | 304.81 | 296.52 | 279.25 | 290.68 | 274.70 | 279.12  | 277.96 | 276.99 | 275.59 |        |    | 1801   |
| 9  | 21096     | 266.70               | 214.33 | 221.94 | 207.46 | 253.31 | 265.04 | 254.51 | 257.28 | 262.05 | 275.93 | 272.09 | 282.68 | 273.28 | 287.33 | 281.98 | 263.89  | 258.36 | 260.52 | 264.65 |        |    | 1801   |
| 10 | 21148     |                      | 242.68 |        | 211.04 |        |        |        |        |        | 229.05 | 223.60 | 235.52 | 222.33 | 229.72 | 223.55 | 232.24  | 233.20 | 246.13 | 249.58 |        |    | 1801   |
| 11 | 21163     |                      | 324.64 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |        |        |        |        |    | 1801   |
| 12 | 21667     | 275.54               | 243.78 | 235.85 | 258.33 |        |        |        |        |        | 286.80 | 283.77 | 290.35 | 270.19 | 285.24 | 276.43 | 258.05  | 277.68 | 278.40 | 213.97 |        |    | 1801   |
| 13 | 29002     | 659.90               | 848.50 | 718.30 | 701.60 | 706.40 | 940.40 | 887.00 | 613.70 | 903.80 | 731.50 | 626.60 | 854.10 | 916.60 | 698.60 | 719.60 | 834.10  |        |        |        |        |    | 1801   |
| 14 | 29003     | 544.80               | 744.80 | 640.20 | 624.90 | 591.60 | 746.50 | 714.00 | 672.20 | 784.90 | 901.30 | 781.20 | 756.90 | 984.80 | 769.60 | 728.60 | 1071.50 |        |        |        |        |    | 1801   |
| 15 | 29004     | 450.80               | 610.50 | 553.00 | 746.50 | 690.20 | 555.00 |        |        | 609.00 | 489.90 | 573.60 | 605.70 | 443.70 | 508.70 | 706.50 | 538.70  | 845.50 | 750.41 |        |        |    | 1801   |
| 16 | 29010     | 504.50               | 683.90 | 544.60 |        | 515.50 | 721.50 |        | 529.10 | 683.70 | 625.00 | 536.30 | 705.00 | 713.00 | 500.30 | 893.40 | 742.30  | 740.70 |        |        |        |    | 1801   |
| 17 | 29027     | 676.60               | 675.80 | 576.30 | 642.00 | 506.30 | 771.50 | 690.50 | 591.40 | 793.70 | 774.50 | 677.00 | 773.80 | 710.40 | 633.38 | 628.31 | 942.30  |        |        |        |        |    | 1801   |
| 18 | 29030     | 932.50               | 971.20 | 963.10 | 846.60 | 856.50 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |        |        |        |        |    |        |

|    | 2008             | 2009             | 2010             | 2011             | 2012             | 2013             | 2014             | 2015             | 2016             | 2017             |                  |             |            |
|----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|------------|
| 3  | Promedio de 2008 | Promedio de 2009 | Promedio de 2010 | Promedio de 2011 | Promedio de 2012 | Promedio de 2013 | Promedio de 2014 | Promedio de 2015 | Promedio de 2016 | Promedio de 2017 | Promedio de 2018 | Promedio    | Proyección |
| 4  | 564.7118927      | 608.645265       | 578.2439808      | 552.866237       | 631.3806096      | 707.717898       | 377.1807338      | 333.0641994      | 278.8543311      | 307.713511       |                  | 563.8669041 | 49         |
| 5  | 1103.187013      | 1065.9012        | 1245.2875        | 1114.084286      | 1057.823257      | 1140.629688      | 1276.167394      | 1002.358873      | 1188.691212      | 933.1            |                  | 1037.621371 | 11         |
| 6  | 1099.291667      | 861.9230769      | 1098.246154      | 975.5923077      | 956.15           | 1285.516667      | 1155.918182      | 1096.018182      | 1270.430769      | 1384             |                  | 1027.322255 | 12         |
| 7  | 585.3249784      | 689.9154762      | 661.3980265      | 584.3030101      | 610.2542164      | 606.041055       | 556.9709831      | 527.2937968      | 579.8423478      |                  |                  | 634.2532321 | 7          |
| 8  | 422.8703905      | 379.8015035      | 461.6142793      | 445.3958813      | 375.5616267      | 358.2910325      | 385.0198212      | 374.4345044      | 271.6216235      |                  |                  | 481.2950325 | 33         |
| 9  | 591.675647       | 529.9536466      | 516.3214217      | 577.8413174      | 567.7015046      | 704.1302793      | 661.1534529      | 596.8741858      | 471.3919007      | 760.975          |                  | 575.5789175 | 6          |
| 10 | 1159.953333      | 1234.805161      | 1342.546333      | 1120.824667      | 1167.668567      | 1247.395677      | 1313.796129      | 1284.797778      | 1159.917059      | 397.26125        |                  | 1150.160194 | 11         |
| 11 | 1047.642553      | 994.6744186      | 1297.965217      | 967.8958696      | 978.8478049      | 1118.412143      | 1131.856977      | 862.5133333      | 1056.245143      | 1057.584211      |                  | 1011.822546 | 10         |
| 12 | 1980.5           | 2556             |                  | 386.5            | 2975.5           | 3715             | 3398             | 630              |                  |                  |                  | 1861.195238 | 24         |
| 13 | 755.3825         | 895.2666667      | 1324.0125        | 809.8            | 717.0333333      | 1296.266667      | 1024.666667      | 974.4            | 414.7            |                  |                  | 902.9862387 | 82         |
| 14 | 835.9            | 640.9            | 974.4666667      | 764.0625         | 763.1444444      | 1057.233333      | 856.4966667      | 964.41           | 732.385          | 708              |                  | 794.6941644 | 79         |
| 15 | 978.1545455      | 846.1181818      | 1153.063636      | 1039.83          | 1105.17          | 1515.17          | 1295.17          | 943.04           | 876.19           | 822              |                  | 954.2524538 | 11         |
| 16 |                  | 820.6            | 1376.9           | 1065.7           | 1231.5           | 1174.1           | 1035.3           | 1295             |                  |                  |                  | 920.0884615 | 10         |
| 17 |                  | 958.89           |                  | 804.1            | 670              | 971.7            | 1051             | 999.5            | 957.5            |                  |                  | 1075.127241 | 70         |
| 18 | 439.6491696      | 471.9571784      | 482.3101767      | 412.6627351      | 453.5512779      | 499.821484       | 304.1871841      | 334.4466194      | 279.5352072      |                  |                  | 425.0890726 | 41         |
| 19 | 899.3277483      | 879.7343094      | 1019.439673      | 874.1899351      | 882.2260579      | 1016.544811      | 1025.964724      | 862.796476       | 905.7065032      | 849.4182616      |                  | 888.2300754 | 97         |

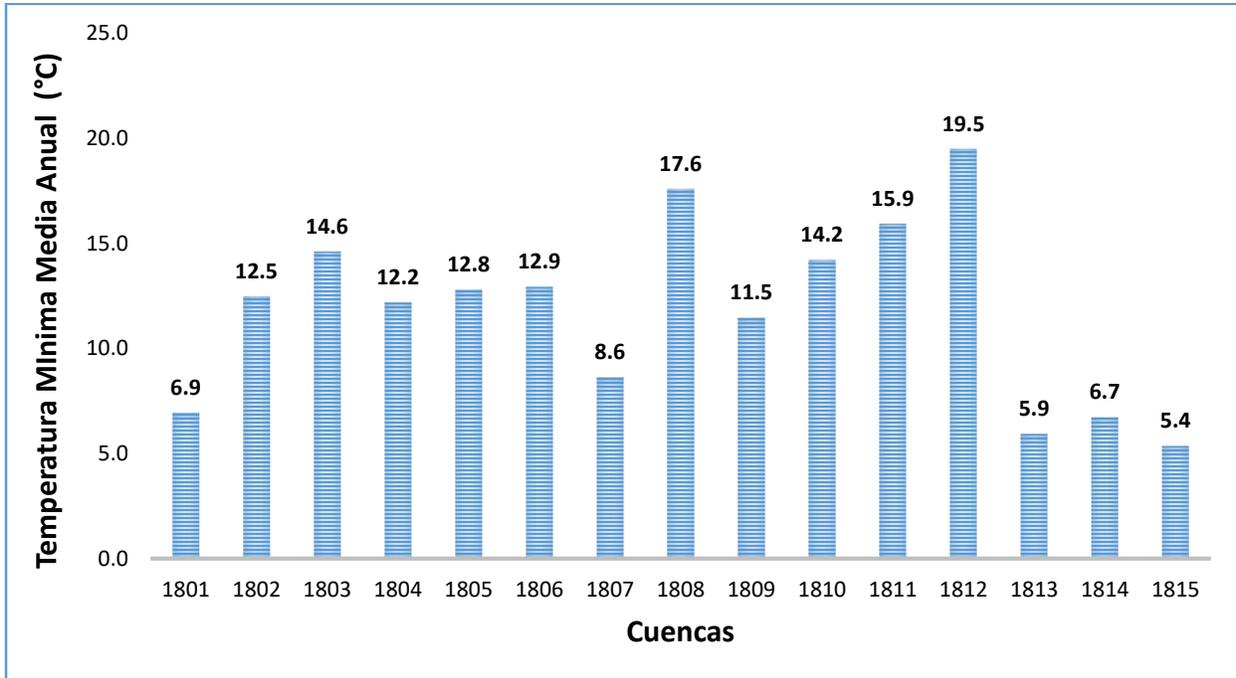
**Figura 5-4.- Ejemplo de obtención de la precipitación media anual por cuenca, para la Rh 18.**



**Figura 5-5.- Precipitación media anual por cuenca, para la Rh 18.**



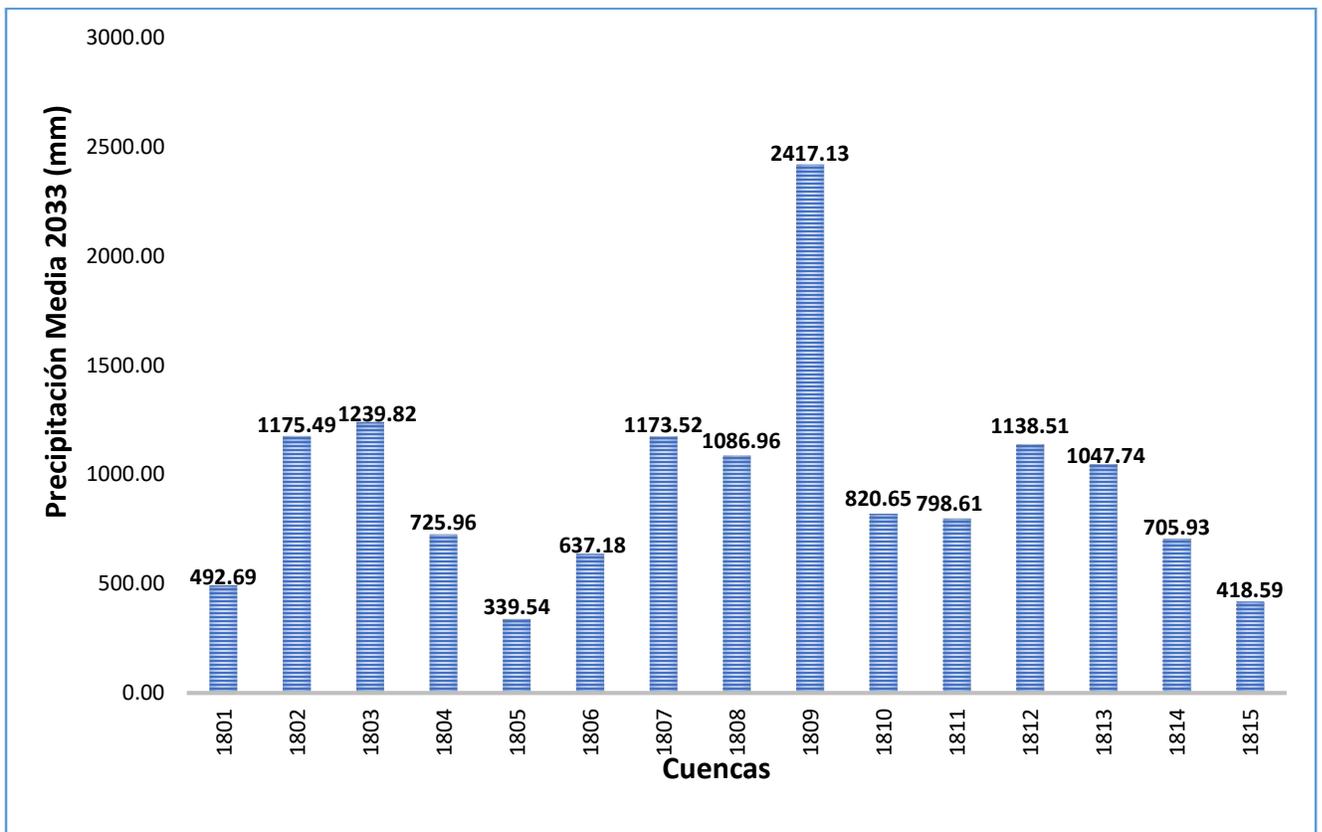
**Figura 5-6.- Temperatura media máxima anual por cuenca, para la Rh 18.**



**Figura 5-7.- Temperatura media mínima anual por cuenca, para la Rh 18.**

## 6.7 Precipitación y temperatura al 2033

Con los datos arreglados por cuenca de precipitación y temperaturas se procedió a obtener el valor de las tres variables al año 2033, con base en un pronóstico lineal que calcula o predice un valor futuro mediante valores existentes. El valor futuro es un valor  $y$  (Precipitación anual por cuenca al 2033) para un valor  $x$  determinado (año 2033). Los valores existentes son valores  $x$  (años de 1980 a 2017) e  $y$  conocidos (Precipitación anual por cuenca de 1980 al 2017), y el valor futuro se pronostica mediante regresión lineal  $a+bx$ . En la **Figura 5-8** **Figura 5-11** y **Figura 5-14** se observan la precipitación y temperaturas por cuenca proyectadas al 2033.



**Figura 5-8.- Proyección de la precipitación al 2033, Rh 18.**

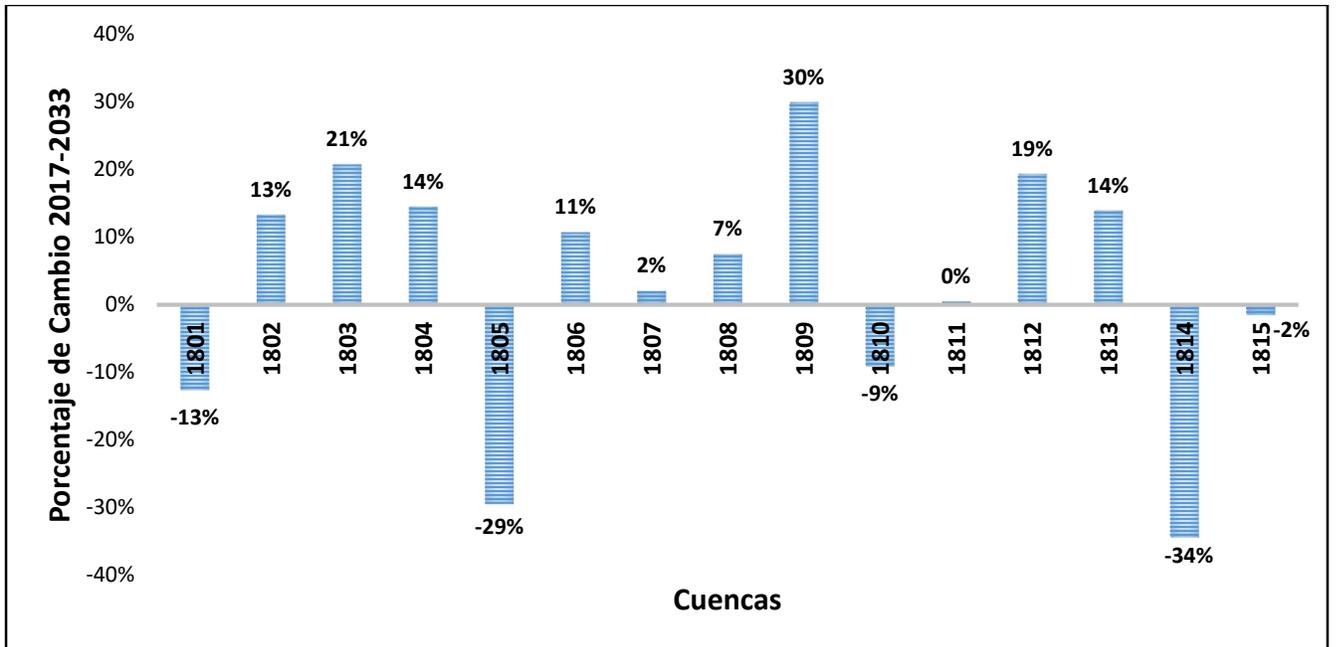


Figura 5-9.- Porcentaje de cambio del 2017 al 2033 para precipitación, Rh 18.

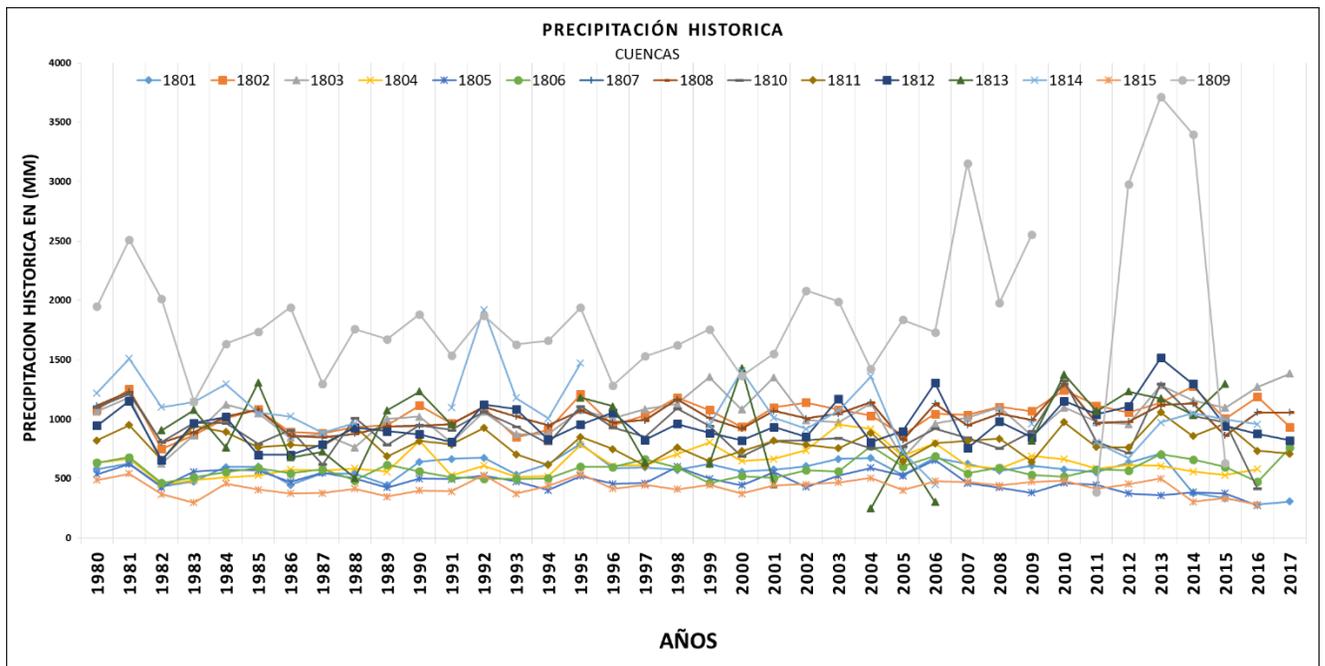


Figura 5-10.- Precipitación Histórica 1980 al 2017, Rh 18.

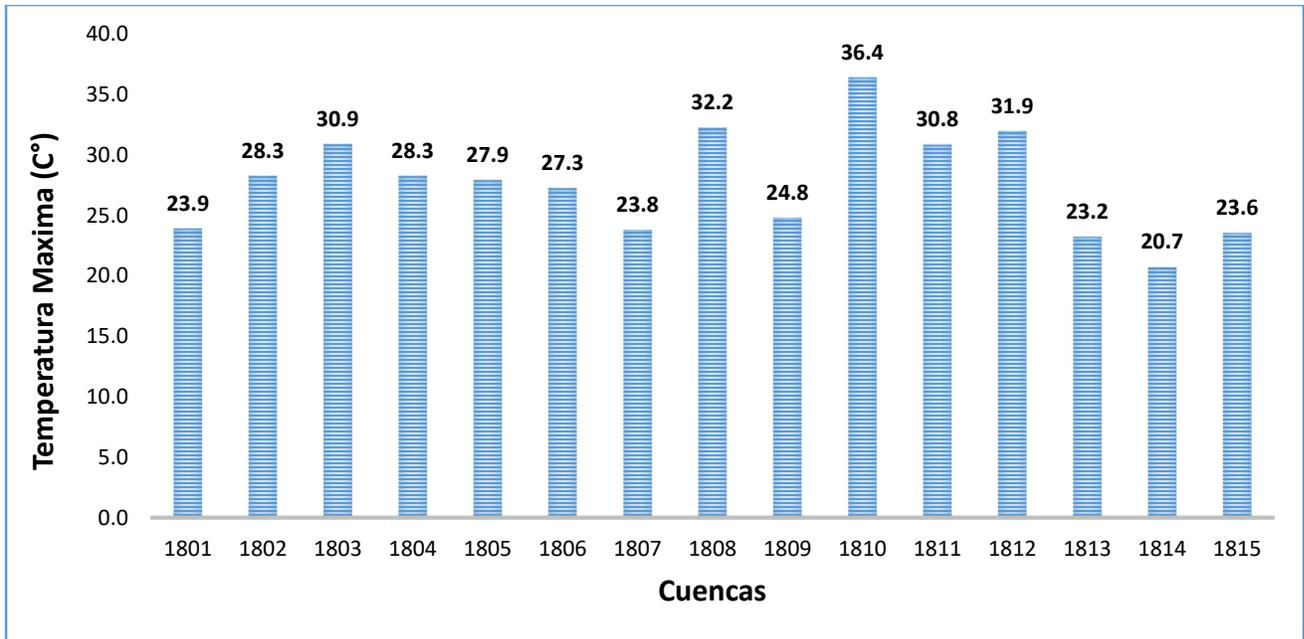


Figura 5-11.- Proyección de la temperatura máxima al 2033, Rh 18

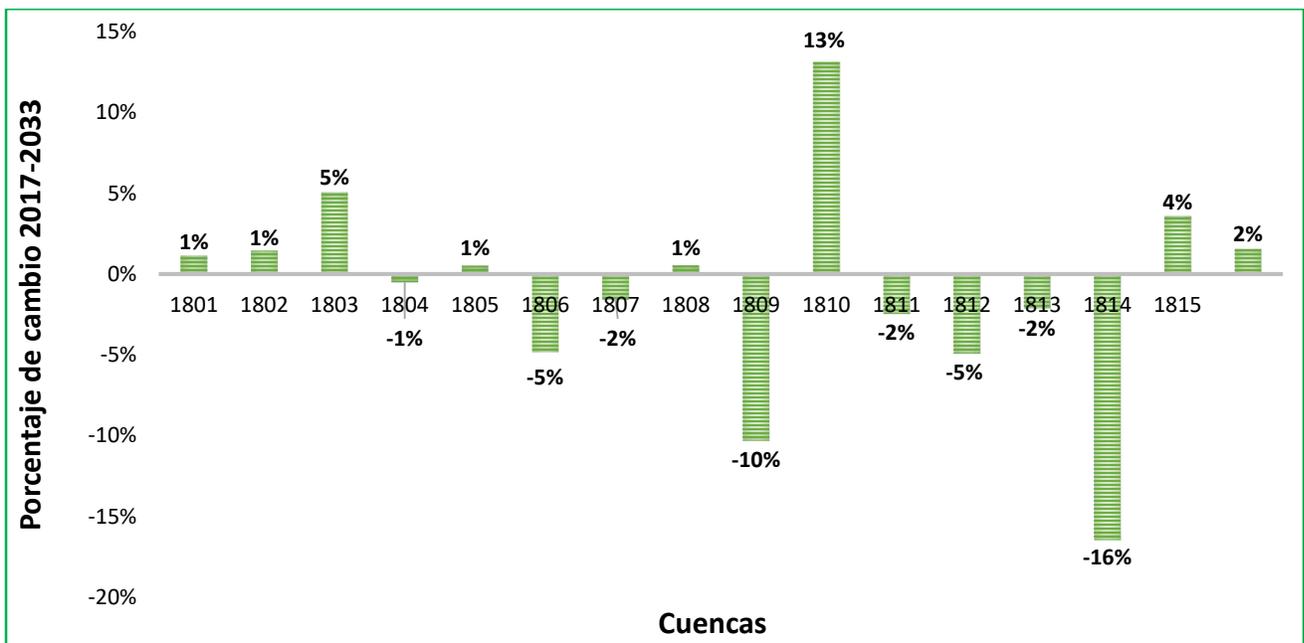
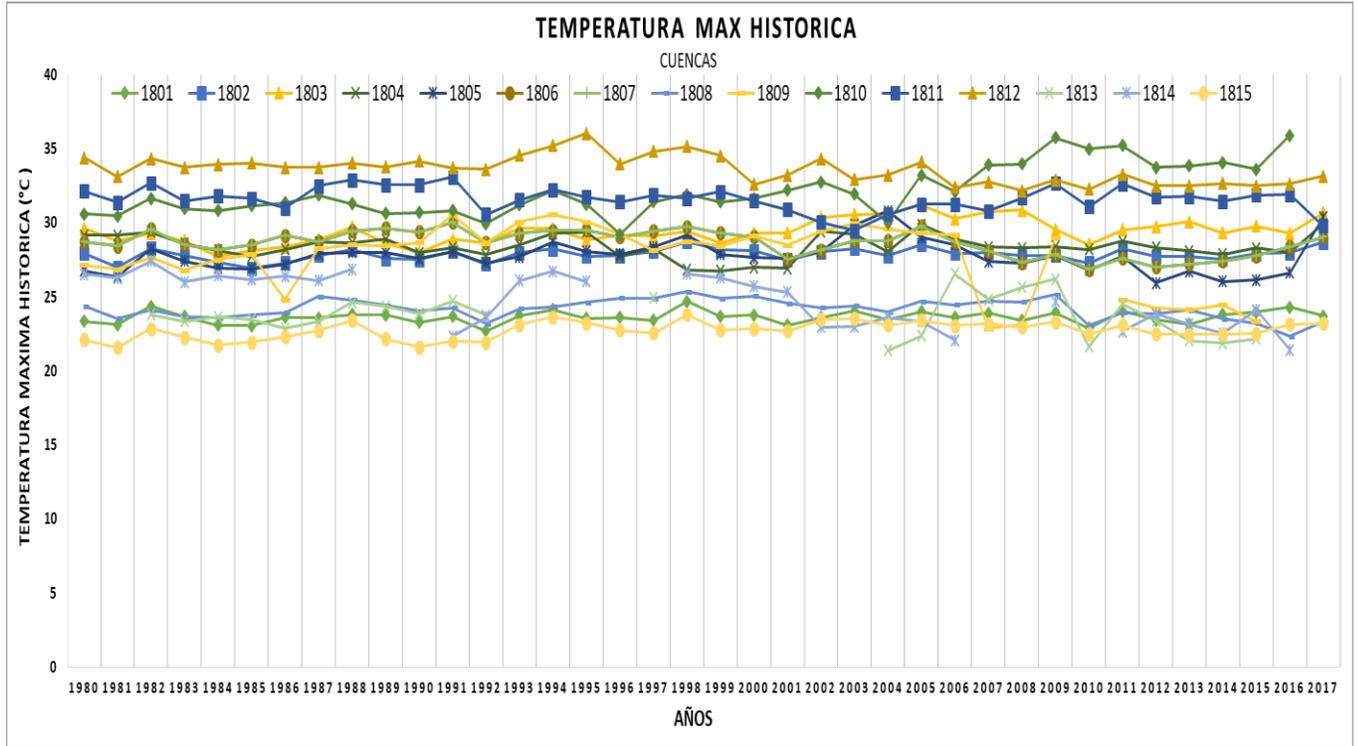
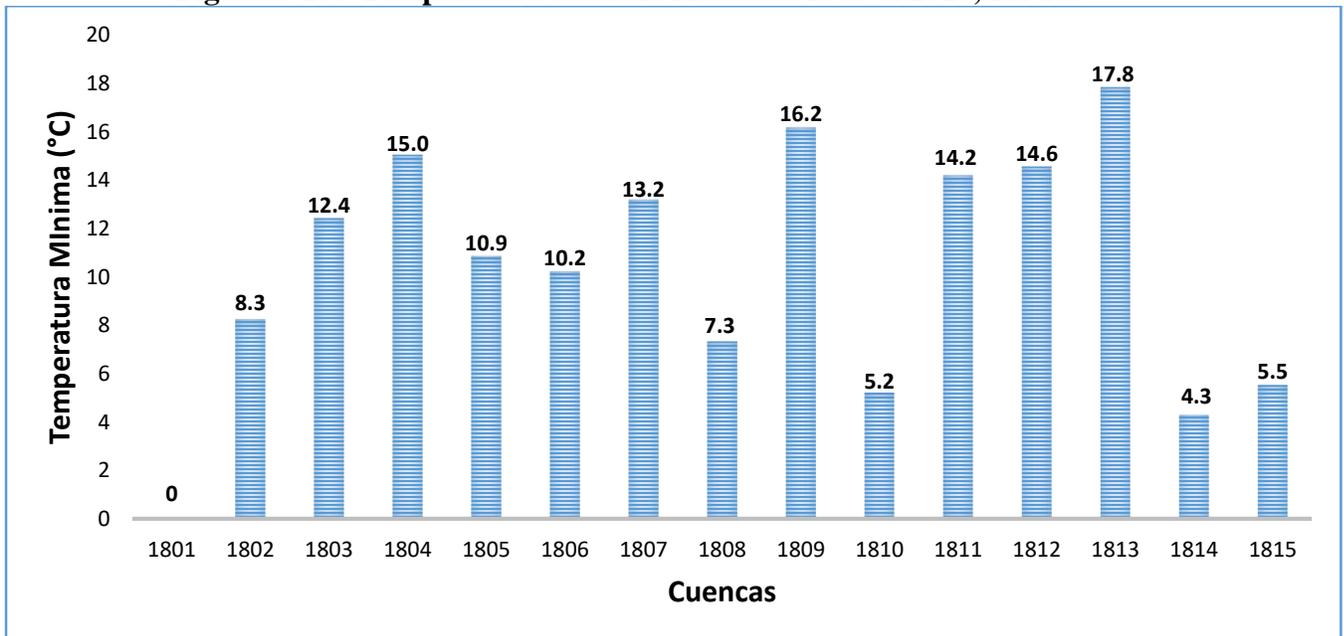


Figura 5-12.- Porcentaje de cambio del 2017 al 2033 para temperatura máxima, Rh 18.



**Figura 5-13.- Temperatura Máxima Histórica 1980 al 2017, Rh 18.**



**Figura 5.14.- Proyección de la temperatura mínima al 2033, Rh 18.**

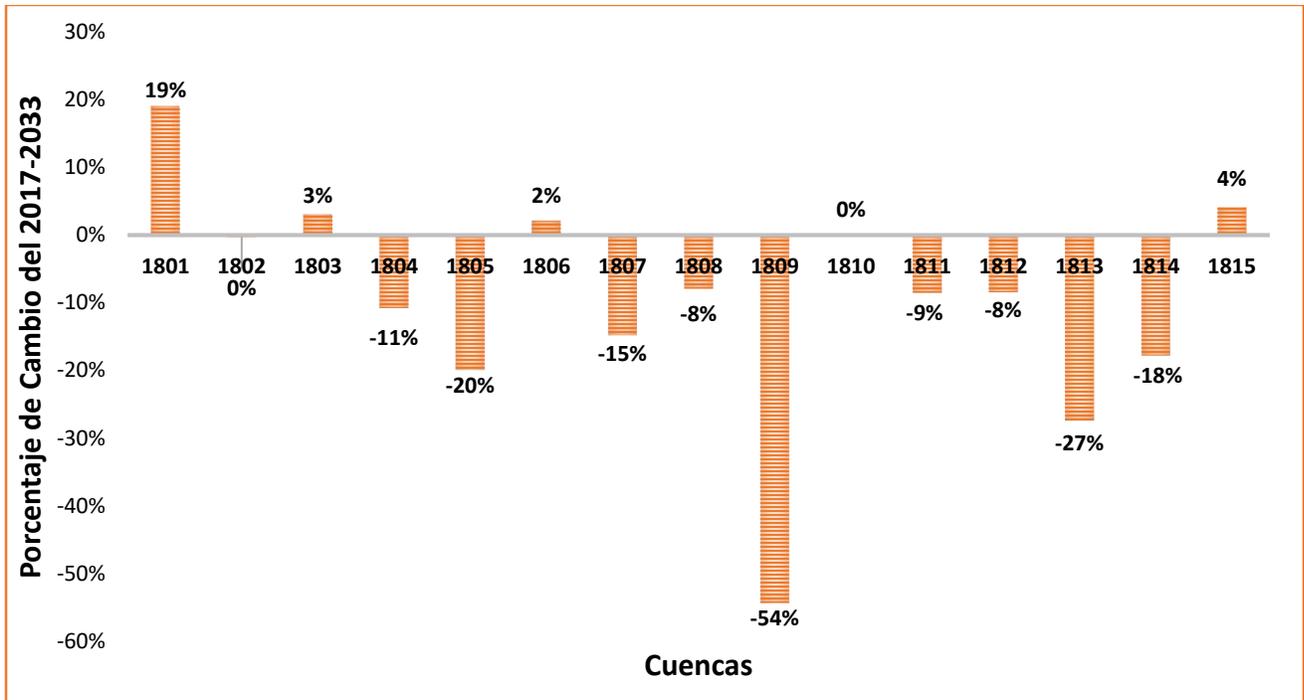


Figura 5-15.- Porcentaje de cambio del 2017 al 2033 para temperatura mínima, Rh 18.

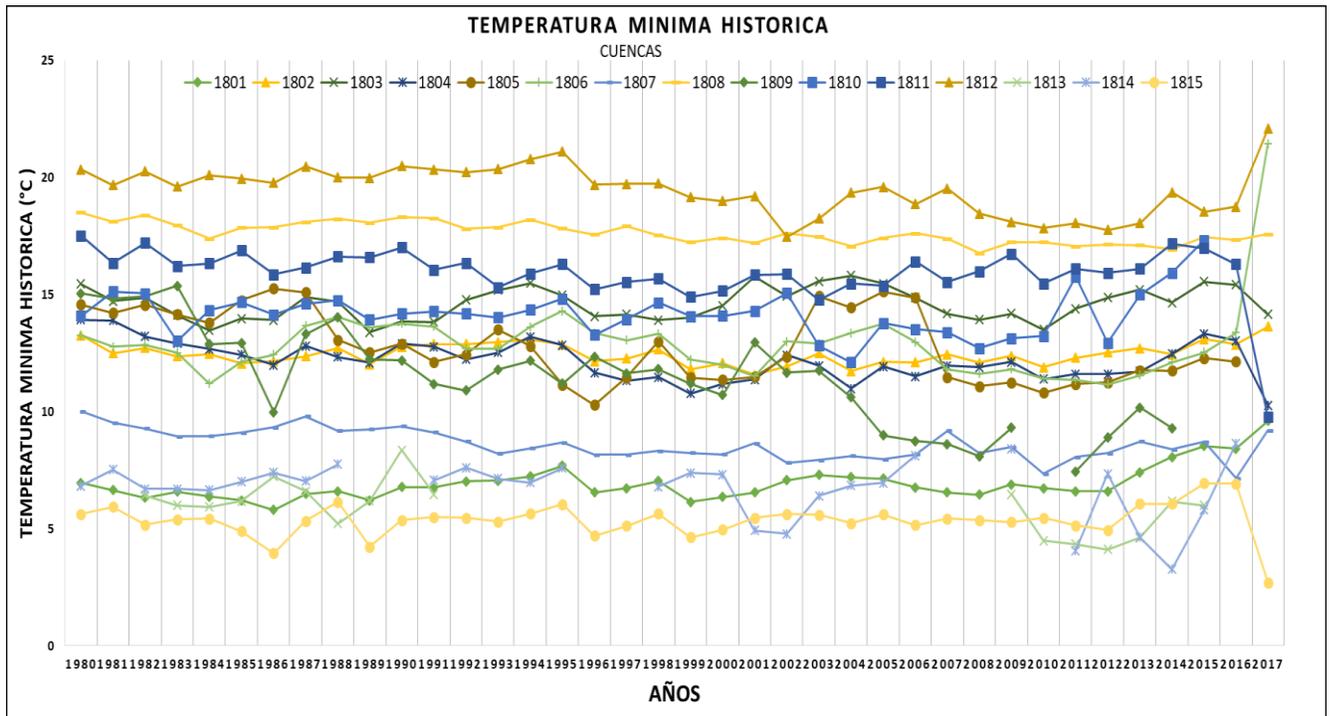


Figura 5-16.- Temperatura Mínima Histórica 1980 al 2017, Rh 18.

Los valores de las variables mostradas anteriormente, son insumo para el cálculo por cuenca propia por el método de Turc.

## VII. RESULTADOS

### 7.1 Estimación del volumen de agua por cuenca propia para dos escenarios

En las siguientes gráficas se muestran los resultados para los escenarios (actual y 2033) para la región.

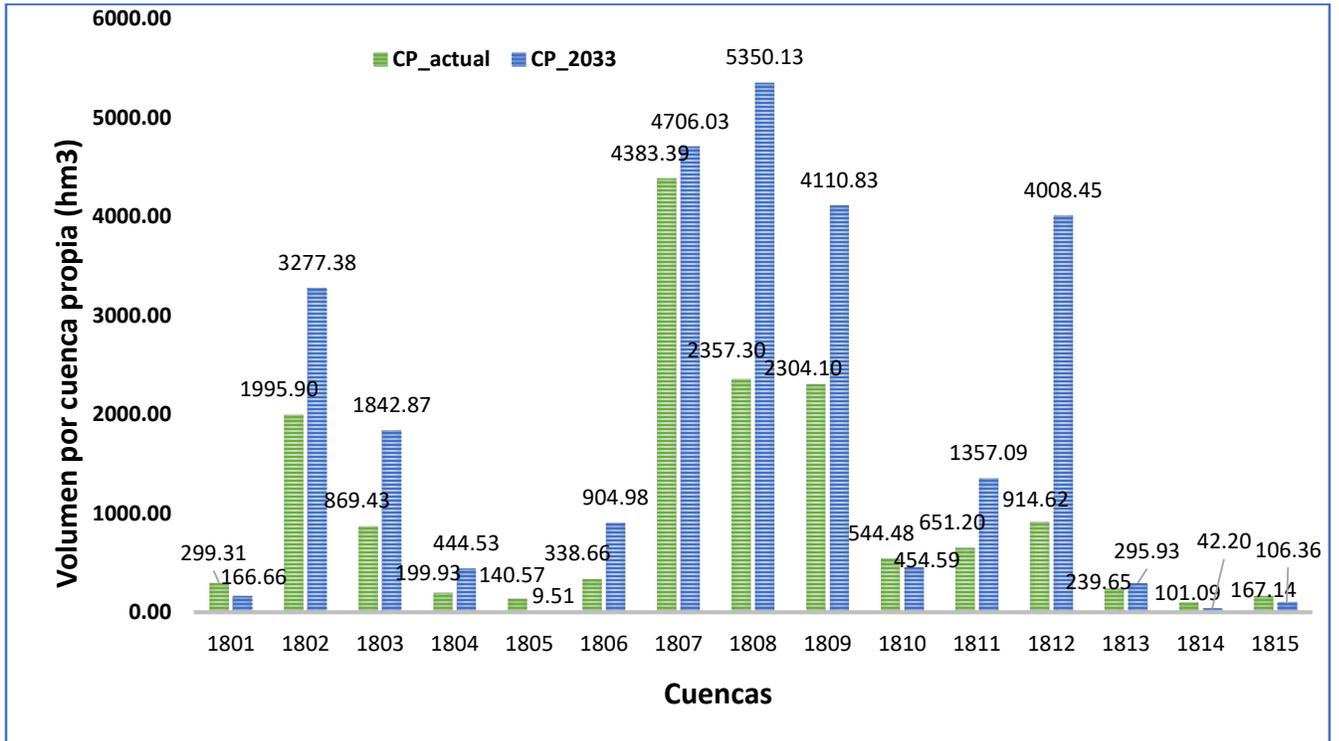
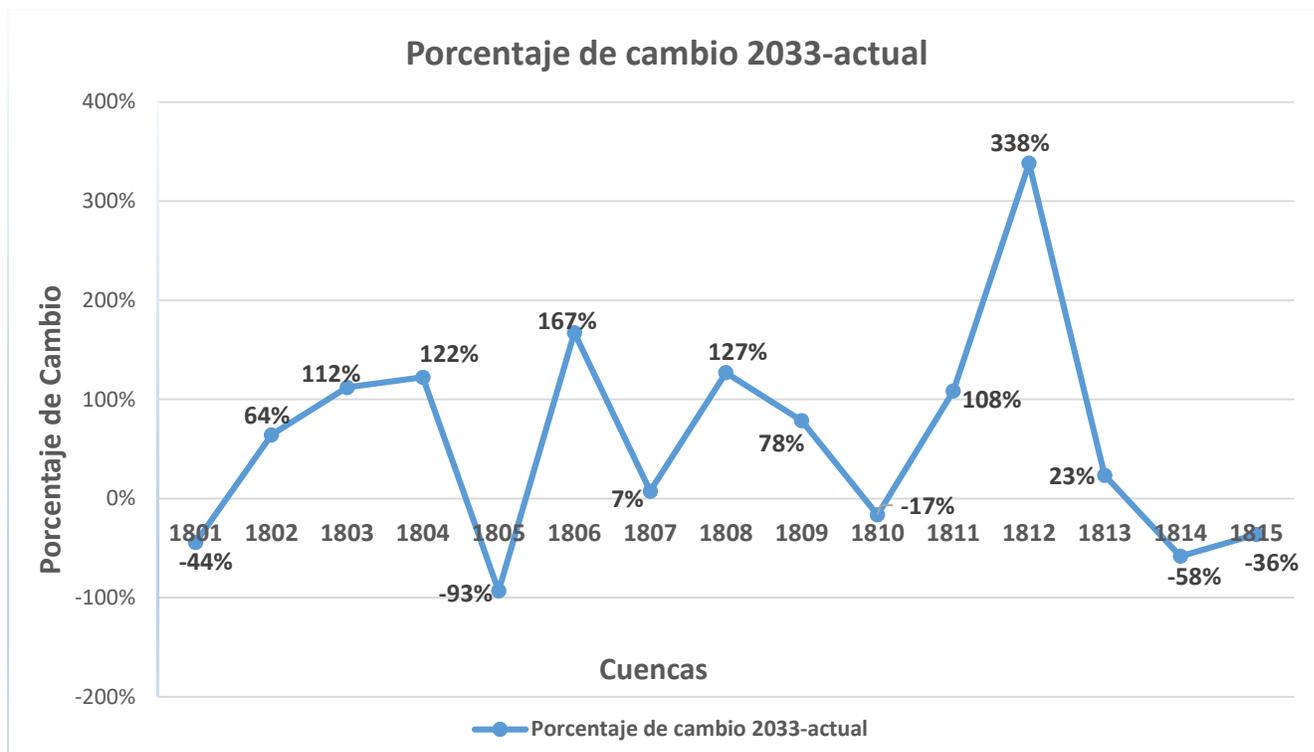


Figura 6-1a.- Volumen por cuenca para dos escenarios en la Rh 18.



**Figura 6-1b.- Volumen por cuenca propia para dos escenarios en la Rh 18**

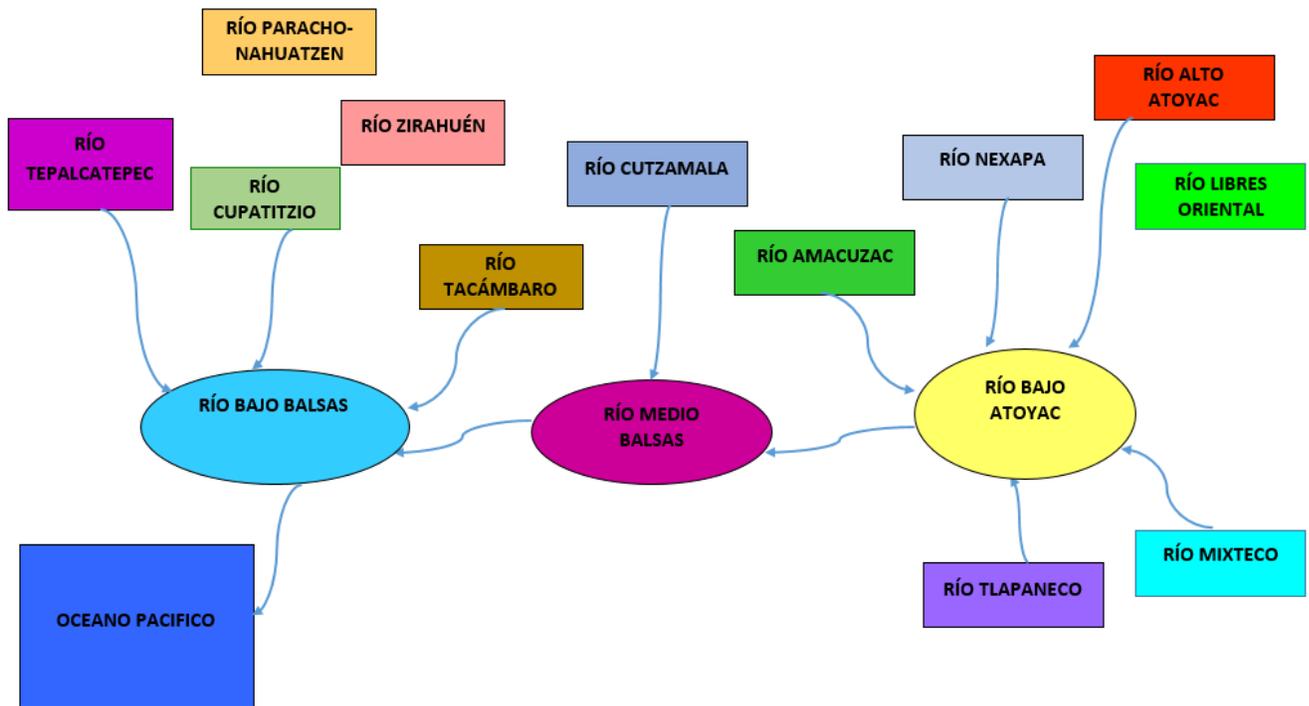
En la figura anterior se observa el cambio en porcentaje, entre el volumen por cuenca propia estimado para la proyección lineal al 2033 y el volumen actual calculado con las variables climáticas históricas. Esta información, en porcentaje, se utilizará para modificar el volumen por cuenca propia de los estudios de disponibilidad del 2020.

## 7.2 Análisis de la disponibilidad del agua al 2033

En la sección 3 de este documento se describió la formulación para obtener la disponibilidad de aguas superficiales, de acuerdo a la NOM-011-CONAGUA-2015, en este bloque se realiza la prospectiva del volumen de agua superficial disponible al año 2033, mediante los escenarios de proyección de la precipitación y temperaturas históricas, posteriormente se calcula el volumen por cuenca propia de estos dos escenarios y se ingresa a la ecuación de balance hídrico.

Para el análisis de usos consuntivos al 2033, se revisó la información de usos del agua contenidos en el SINA, además de revisar los ordenamientos publicados hasta la fecha para cada cuenca. Así mismo, se revisó la interconexión de cuencas que a continuación se describe.

En la siguiente figura se muestra en formato de diagrama de bloques la interconexión entre cuencas hidrográficas para la Rh 18.



**Figura 7-1.-Diagrama de interconexión entre cuencas de la Rh18.**

### **7.3 Disponibilidad de agua superficial por escenarios**

#### **7.3.1 Escenario Disponibilidad de agua superficial del estudio 2020**

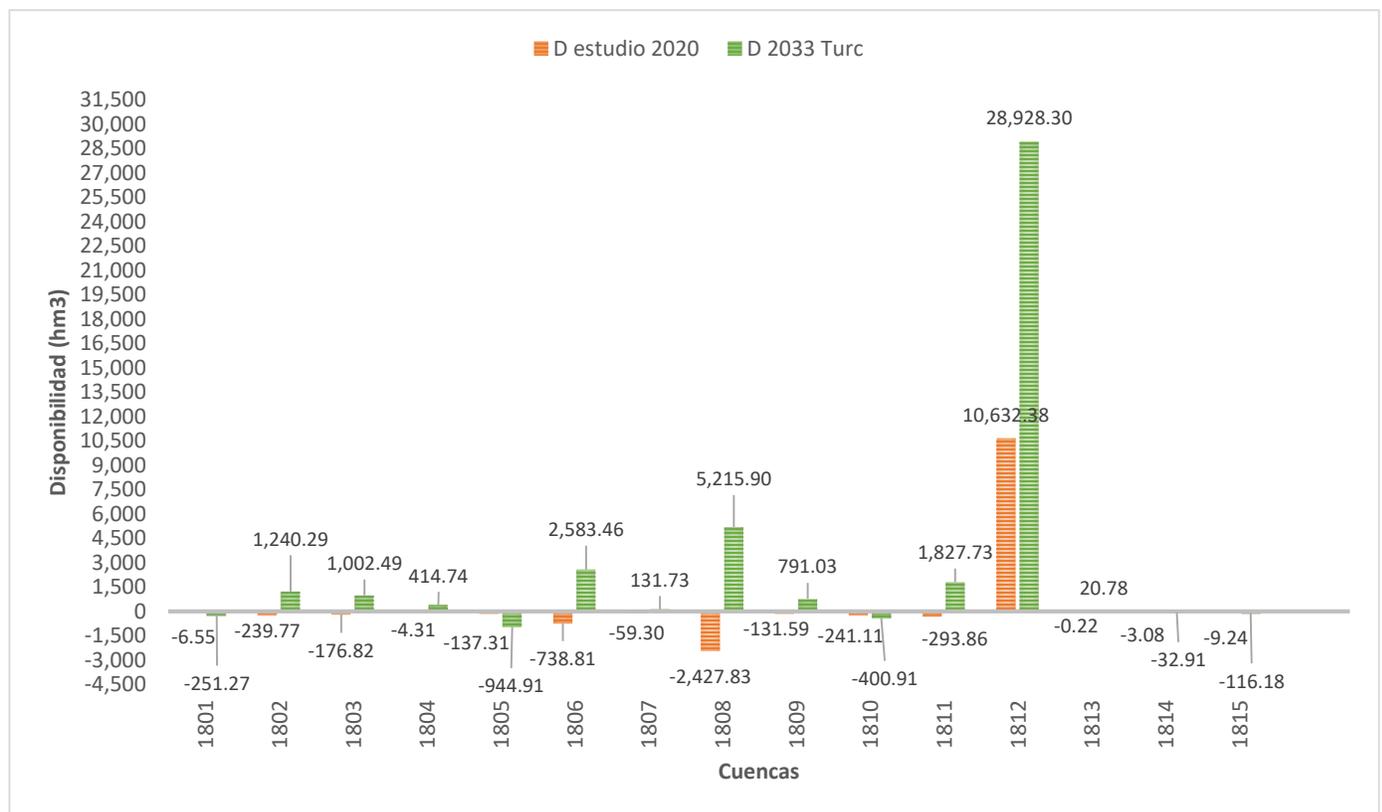
Este escenario es lo publicado en el estudio de disponibilidad del 2020 emitido en el DOF, su función es contar con un punto de referencia.

#### **7.3.2 Escenario Disponibilidad de agua superficial al 2033**

En este escenario se consideró el incremento del volumen por cuenca propia calculado mediante el método de Turc actual y el proyectado al 2033. Por cada cuenca se estimaron la precipitación y temperaturas medias anuales desde 1980 a la fecha, obteniendo con ello una proyección lineal al 2033. El porcentaje de cambio de volumen por cuenca propia se aplicó al volumen por cuenca propia del estudio 2020 para obtener el Cp al 2033.

- La evaporación (Ev) se consideró constante.

- Los usos consuntivos se consideran sin cambio en las subcuencas Río Alto Atoyac, Río Amacuzac, Río Tlapaneco, Río Nexapa, Río Mixteco, Río Bajo Atoyac, Río Cutzamala, Río Medio Balsas, Río Cupatitzo, Río Tacambaro, Río Tepalcatepec, Río Bajo Balsas, Río Parachonahuatzen, Río Zirahuén, Río Libres Oriental, por tener actualmente Veda, Reserva y reglamento. Las cuencas con volúmenes reservados se mantienen si cambio debido a que la variable  $Uc(c)$  ya considera un volumen de agua que se utilizará a futuro, el resto de las cuencas se incrementan sus usos consuntivos de acuerdo al cambio esperado mostrado en la sección Usos del agua de este documento.
- Los retornos, importaciones, exportaciones y el volumen anual actual comprometido aguas abajo se mantienen sin cambio.

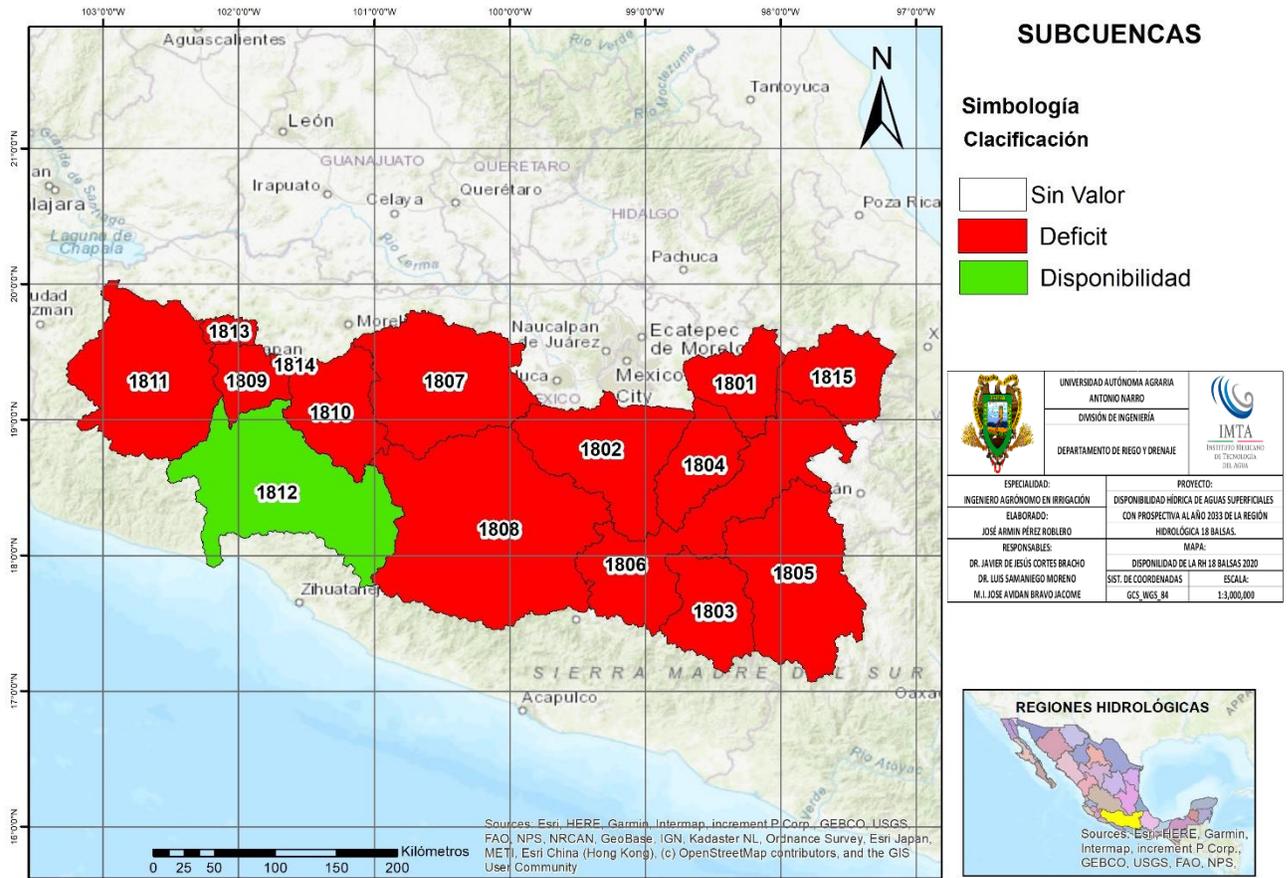


**Figura 8.1.-Disponibilidad de agua superficial en la Rh 18 Balsas para dos escenarios**

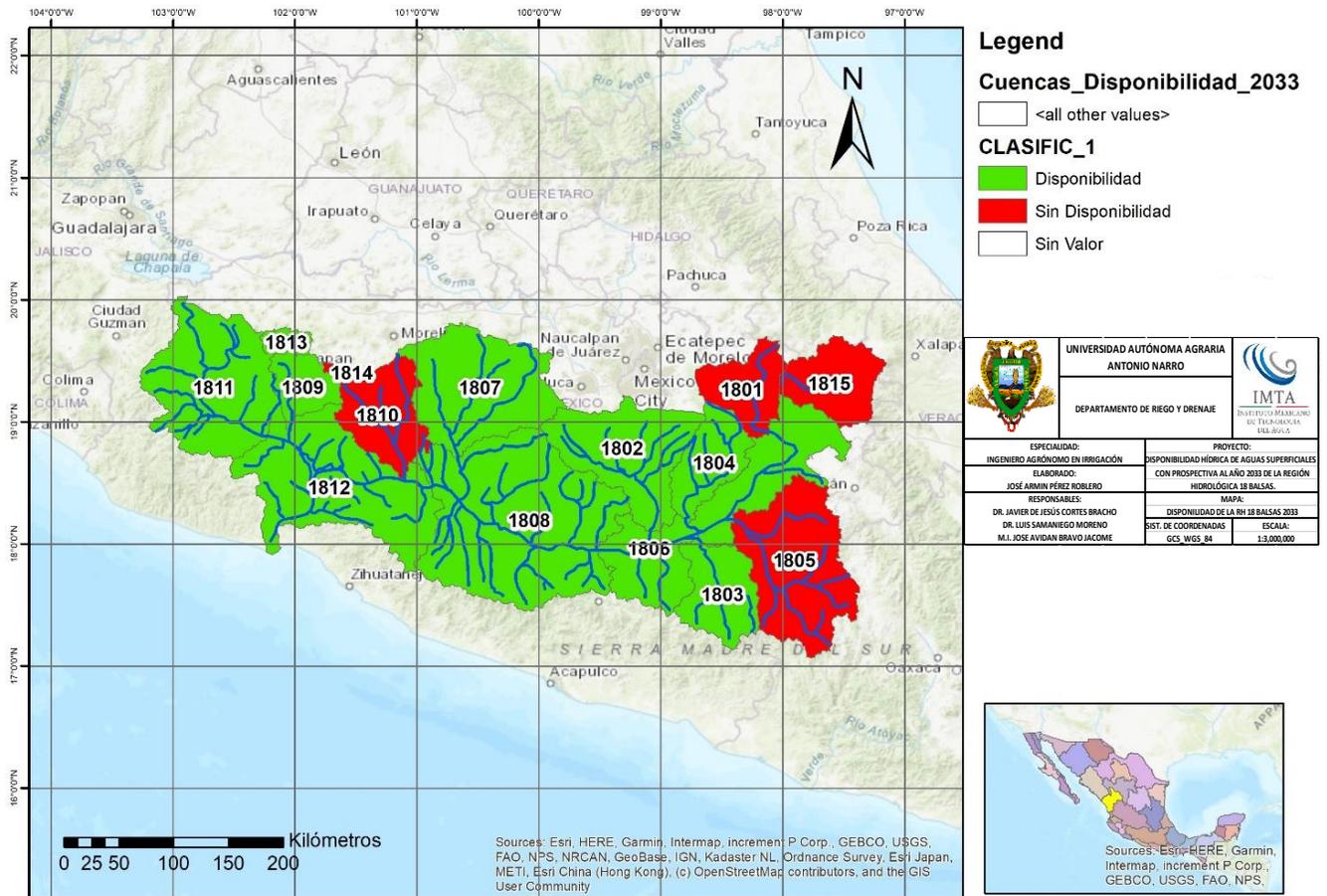
**Tabla 1-4.- Disponibilidad de agua superficial en la Rh18 Balsas para dos escenarios**

| <b>Clave cuenca</b> | <b>Nombre cuenca</b>  | <b>Descripción</b>   | <b>D estudio 2020</b> | <b>D 2033 Turc</b> |
|---------------------|-----------------------|--|-----------------------|--------------------|
| 1801                | Río Alto Atoyac       | Desde su nacimiento, hasta la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo)   | -6.55                 | -251.27            |
| 1802                | Río Amacuzac          | Desde su nacimiento, hasta la EH Atenango del Río  | -239.77               | 1,240.29           |
| 1803                | Río Tlapaneco         | Desde su nacimiento, hasta la EH Ixcamilpa   | -176.82               | 1,002.49           |
| 1804                | Río Nexapa            | Desde su nacimiento, hasta la EH Sta. María Coetzala   | -4.31                 | 414.74             |
| 1805                | Río Mixteco           | Desde su nacimiento, hasta la EH El Fraile   | -137.31               | -944.91            |
| 1806                | Río Bajo Atoyac       | Desde donde se localizan la presa Manuel A. Camacho (Valsequillo) y las EH Atenango del Río, Ixcamilpa, Sta. María Coetzala y El fraile, hasta la EH San Juan Tetelcingo | -738.81               | 2,583.46           |
| 1807                | Río Cutzamala         | Desde el nacimiento del Río Zitácuaro, hasta la EH El Gallo  | -59.30                | 131.73             |
| 1808                | Río Medio Balsas      | Desde donde se localizan las EH San Juan Tetelcingo y El Gallo, hasta la EH La Caimanera   | -2,427.83             | 5,215.90           |
| 1809                | Río Cupatitzio        | Desde su nacimiento, hasta la EH La Pastoría   | -131.59               | 791.03             |
| 1810                | Río Tacámbaro         | Desde el nacimiento de corrientes perennes, hasta la EH Los Pinzanes   | -241.11               | -400.91            |
| 1811                | Río Tepalcatepec      | Desde el nacimiento del Río Quitupan, hasta la EH Los Panches  | -293.86               | 1,827.73           |
| 1812                | Río Bajo Balsas       | Desde donde se localizan las EH La Caimanera, La Pastoría, Los Pinzanes y Los Panches, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico                                      | 10,632.38             | 28,928.30          |
| 1813                | Río Paracho-Nahuatzen | Grupo de corrientes intermitentes (cuenca cerrada).  | -0.22                 | 20.78              |
| 1814                | Río Zirahuén          | Desde el nacimiento de pequeñas corrientes hasta su descarga en el Lago Zirahuén (cuenca cerrada).   | -3.08                 | -32.91             |

| <b>Clave cuenca</b> | <b>Nombre cuenca</b> | <b>Descripción</b>   | <b>D estudio 2020</b> | <b>D 2033 Turc</b> |
|---------------------|----------------------|--|-----------------------|--------------------|
| 1815                | Río Libres Oriental  | Desde el nacimiento del Arroyo Xonecuila y los ríos La Barranca y La Malinche, hasta su descarga en el Lago de Totolcingo (cuenca cerrada) | -9.24                 | -116.18            |



**Figura 8-2.- Mapa de la Disponibilidad de agua superficial actual, estudio 2020.**



**Figura 8-3.- Mapa de la Disponibilidad de agua superficial, estudio 2033.**

## VIII. CONCLUSIONES

La Rh 18 Balsas es la novena región con más disponibilidad de agua superficial con 18, 574.8 hm<sup>3</sup> anuales en promedio.

Sin embargo, se debe considerar que esta disponibilidad se debe a la alta productividad de escurrimiento y altos usos consuntivos de algunas cuencas, es decir, todas excepto las subcuencas del Río Alto Atoyac y Río Libres Oriental. Estas dos últimas presentan un volumen por cuenca propia de 299.31 hm<sup>3</sup> y 167.14 hm<sup>3</sup> (Figura 6-1a), ya que se abastecen principalmente de aguas subterráneas. Pero también en ciertas cuencas que se consideran cerradas se recurre a estas fuentes de agua (subterráneas), tales como el Río Zirahuén, Río Paracho-Nahuatzen, Río Libres Oriental.

El alto consumo de los usos consuntivos se debe a que en la región se ubica la población de la ciudad de Puebla y los municipios aledaños pertenecientes al Estado de Morelos, entre otras grandes urbes, la población suma un total de 12, 004,579 habitantes, donde más de 4, 382,851 millones se concentran en Puebla y 1,937,181 en Morelos.

Tomando en cuenta la alta explotación de los recursos hídricos, desde 1931 se han venido estableciendo ordenamientos por subcuencas (subregiones) como vedas, reservas y reglamento para regular las extracciones. Actualmente rige la veda, reserva y reglamento en las subcuencas **Río Alto Atoyac, Río Amacuzac, Río Tlapaneco, Río Nexapa, Río Mixteco, Río Bajo Atoyac, Río Cutzamala, Río Medio Balsas, Río Cupatitzo, Río Tacambaro, Río Tepalcatepec, Río Bajo Balsas, Río Paracho-Nahuatzen, Río Zirahuén, Río Libres Oriental.**

En el análisis del comportamiento de los usos del agua se observa un incremento hacia el año 2033, sin embargo, en las subcuencas mencionadas en el párrafo anterior no se consideró este crecimiento por las reservas con las que cuenta.

En cuanto a las proyecciones al 2033 de precipitación y temperatura de acuerdo al comportamiento histórico se observa que, en 10 cuencas, se tiene un aumento de la precipitación en promedio del 13% (147.39 mm), mientras que en el resto en promedio se reduce un 17% (134.19 mm). Para la temperatura se observa que en 5 de las 15 cuencas se incrementará la temperatura media casi 5% (0.91°C en promedio) y en el resto se reducirá en promedio 8 % (1.4°C).

En el cálculo del volumen por cuenca propia, con base en la tendencia de registros históricos, se relaciona al obtenerse 10 cuencas con un incremento en el volumen del 115% en promedio, mientras que el resto se reduce en promedio 50%.

En el cálculo de la prospectiva de la disponibilidad al año 2033 se obtiene que de una cuenca con disponibilidad en 2020 se incrementara a 10 cuencas al 2033 (**Figura 8-2 y Figura 8-3**).

Con los estudios y datos recabados se determinó que habrá más disponibilidad al 2033 teniendo en cuenta que sus usos consuntivos se mantengan estables y considerando sus variables climatológicas como temperaturas y precipitación.

De lo anterior se puede concluir que, de continuar con la tendencia que muestran los registros de precipitación y sin incrementar los usos del agua que impliquen sacar el recurso de su cauce, es posible considerar una buena evolución de la disponibilidad hídrica. Este estudio sirvió para saber la cantidad de agua en ( $\text{hm}^3$ ) que se dispondrá en el año 2033, es posible considerar proyectos de captación de agua en ciertas cuencas de la Rh 18 ya que de acuerdo a los resultados habrá más agua al 2033 para beneficio de la población pública urbana, del sector agrícola, industrial y termoeléctrico, pero en ciertas cuencas tendrá déficit así que se buscara el cuidado del agua y la aplicación de medidas drásticas tales como; el cambio de cultivos que requieran mucha agua, el uso de sanitarios que consuman menos agua, eficientizando así todos los usos consuntivos por la nula disponibilidad que se tendría.

## **IX. RECOMENDACIONES**

Tecnificar los sistemas de riego aplicados para la agricultura, arreglando las fugas de la red de agua potable, eficientizar los usos consuntivos tales como usos agrícolas, abastecimiento público, industrial y termoeléctrico, concientizar a la población a cuidar este recurso tan valioso y a no contaminar los cuerpos superficiales de agua.

Proteger los acuíferos de las cuencas estudiadas: el acuífero Rio Alto Atoyac, Rio Mixteco, Rio Tacámbaro, Rio Zirahuén, Rio Libres Oriental, mediante la protección de sus áreas de recarga.

Regular las urbanizaciones y desarrollos industriales en las áreas de recarga y almacenamiento de las cuencas.

Darles tratamiento a los vertidos industriales y domésticos, para disminuir el deterioro de la calidad de los recursos hídricos de las cuencas.

Proteger las cuencas, mediante la implementación de programas de reforestación y conservación de suelos, que permitan mantener y/o incrementar, los porcentajes de infiltración de la precipitación.

Establecer medidas que combatan sus efectos, tal caso es el de establecer un volumen de caudal ecológico como obligatorio en los cauces perennes de la región. A partir de este volumen, el caudal restante se repartiría entre los usos consuntivos partiendo de una planificación que tome en cuenta el consumo humano, alimentación y posteriormente lo económico.

Todo esto con la finalidad de reducir el déficit hídrico de las regiones a futuro, para poder evitar sequías catastróficas que afecten al campo mexicano, a la población y a las industrias, haciendo un uso eficiente de este valioso recurso, reduciendo riesgos y planteando soluciones alternas para poder prevenir situaciones como las que actualmente se enfrenta el Estado de Nuevo León.

## X. BIBLIOGRAFIA

1. Blaney, H.F.; Criddle, W.D. (1950). “*Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data*”. U.S. Dep. Agri. S.C.S.- TP – 96.44P. Consultado el 28 de julio del año 2021.
2. Breña Puyol, F y Breña Naranjo, J. (2007) “*Disponibilidad de agua en el futuro de México*”. Consultado el 09 de julio del año en <https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/index.php/77-vol-58-num-3-julio-septiembre-2007/agua/123-disponibilidad-de-agua-en-el-futuro-de-México>.
3. CFE. (2008). “*Generación de Electricidad Informe Anual 2008*”. Consultado el 26 de julio del año 2021 en [http://www.cfe.gob.mx/informe2008/capitulo3\\_1.html](http://www.cfe.gob.mx/informe2008/capitulo3_1.html).
4. CONAGUA. (2001-2008). “*Usos del agua en México*”. Consultado el 07 de agosto del año 2021 en, [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjptTwqKPzAhWblGoFHXQbB4cQFnoECAIQAAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.conagua.gob.mx%2FCONAGUA07%2FContenido%2FDocumentos%2FSINA%2FCapitulo\\_3.pdf&usg=AOvVaw0yqcvHmORDF9gQVEJpoGqX](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjptTwqKPzAhWblGoFHXQbB4cQFnoECAIQAAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.conagua.gob.mx%2FCONAGUA07%2FContenido%2FDocumentos%2FSINA%2FCapitulo_3.pdf&usg=AOvVaw0yqcvHmORDF9gQVEJpoGqX)
5. CONAGUA. (2009) “*Resumen nacional a partir de los datos estatales. Elaborado a partir de SAGARPA Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*”. Consultado el 23 de julio del año 2021 en <http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/Artus/eis/loadstage.asp> (15/07/2009).
6. CONAGUA. (2015). “*La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua*”. “(CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF)”. Consultado el 03 de Agosto del año 2021 en <http://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC143453/>.
7. CONAPO. Consejo Nacional de Población (2003). “*La disponibilidad natural media anual por habitante en México*”. Consultado el 10 de julio del año 2021 en [https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/58\\_3/PDF/09-550.pdf](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/58_3/PDF/09-550.pdf).
8. Diario Oficial de la Federación (DOF). (s.f. a). *ACUERDO por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas*. Consultado el 07 de julio del año 2021 en [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5175730](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5175730).
9. Duarte O, & Díaz E. (2003). “*Tecnología de Tierras y Aguas I. Evaporación y Evapotranspiración*”. Consultada el 27 de julio del año 2021 en <http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/riego/Archivos/Cap%2005%20-%20Evaporacion%20y%20Evapotranspiracion.pdf>.

10. INEGI. (2003). “*Sistema de Cuentas Nacionales de México – Cuentas de Bienes y Servicios 2003-2007 Base 2003. 2008*”. Consultado el 24 de julio del año 2021.
11. INEGI. (2009). “*Estructura del SCIAN México*”. Consultado el 26 de julio del año 2021 en <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/censos/scian/estructura.pdf> (15/07/2009).
12. Ordoñez Gálvez. J, (2011). “*Balance hídrico*”. Consultada el 30 de julio del año 2021 en <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=15.+Ordo%C3%B1ez+G%C3%A1lvez.+J%2C+%E2%80%9CBalance+h%C3%ADrico%E2%80%9D>.
13. Penmann, H. L. (1948). “*Natural Evaporation from open water, bare soil, and grass*”. *Procc. R. Soc. London* 193:120-146. Consultado el 28 de julio del año 2021.
14. Ricardo Capilla Vilchis. “*La crisis de agua en México*”. Consultado el 08 de julio del año 2021 en <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/ambiente/24452-la-crisis-del-agua-en-mexico>.
15. Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (s.f. a) *Información Estadística Climatológica*. Consultado el 07 de julio del año 2021 en <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>.
16. Smith, J. (1998). “*Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*” - FAO Irrigation and Drainage. Paper N° 56. Consultado el 30 de julio del año 2021.
17. **Diario Oficial de la Federación (DOF), 2018.** *ACUERDO por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas.* [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5175730](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5175730)
18. **Instituto Nacional de Geografía e Historia (INEGI) 2020.** *Censo de Población y Vivienda 2020.* <https://inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
19. **Diario Oficial de la Federación (DOF), 2016.** *ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos.* [www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5443858&fecha=07/07/2016&print=true](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5443858&fecha=07/07/2016&print=true)
20. **Diario Oficial de la Federación (DOF), 2020.** *ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones Hidrológicas en que se encuentra dividido*

los Estados Unidos Mexicanos.  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5600849&fecha=21/09/2020&print=true](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600849&fecha=21/09/2020&print=true)

21. **Diario Oficial de la Federación (DOF) 2013.** *ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Río Alto Atoyac, Río Amacuzac, Río Tlapaneco, Río Nexapa, Río Mixteco, Río Bajo Atoyac, Río Cutzamala, Río Medio Balsas, Río Cupatitzio, Río Tacámbaro, Río Tepalcatepec, Río Bajo Balsas, Río ParachoâNahuatzen, Río Zirahuén y Río Libres Oriental, mismas que forman parte de la Región Hidrológica número 18 Balsas.*  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5312028&fecha=28/08/2013](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5312028&fecha=28/08/2013)
22. **Diario Oficial de la Federación (DOF), 2015.** *NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.*
23. Suárez-Medina, M. de los Á., Aguilar-Garduño, E., & Bravo-Jácome, J. A. (2016). *Análisis de los escurrimientos de la cuenca del Río Verde.* Instituto de Tecnología del Agua.
24. Sistema Nacional del Agua (SINA) 2020. *REPDA/Volúmenes inscritos.*  
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=mapa&o=1&n=nacional>
25. Sistema Nacional del Agua (SINA) 2020a. *Detalle de las cuencas hidrológicas en México (2020).*  
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas&ver=reporte&o=2&n=nacional>
26. Sistema Nacional del Agua (SINA) 2020b. *Ordenamientos.*  
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=ordenamientos&ver=reporte> Sánchez-Javier-, Francisco Javier. *Hidrología Hidrogeología.* Universidad de Salamanca.  
<https://hidrologia.usal.es/temas/Evapotransp.pdf>