



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**COORDINACIÓN DE GOBERNANZA DEL  
AGUA Y FORTALECIMIENTO DE  
CAPACIDADES**

**SUBCOORDINACIÓN DE POSGRADO  
Y EDUCACIÓN CONTINUA**

**TESIS**

**ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA  
REGIÓN HIDROLÓGICA GRIJALVA-USUMACINTA  
Y SU PROSPECTIVA AL 2034**

que para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias y Tecnología del Agua**

presenta

**Ing. Elmer Natanael Sánchez Cortés**

**Tutor: Dr. Rodrigo Roblero Hidalgo  
Cotutor: Dr. Roel Simuta Champo**

**Jiutepec, Morelos**

**Año: 2023**





**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**IMTA**  
INSTITUTO MEXICANO  
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimoniales de la obra titulada "Análisis de Disponibilidad Hídrica en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta y su prospectiva al 2034", otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y la divulguen entre su personal, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una contraprestación.

**ING. ELMER NATANAEL SÁNCHEZ CORTÉS**

Jiutepec, Morelos a 1 de junio del 2023





**MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DEL AGUA**  
**(Ingeniería en Sistemas Hidráulicos)**

Comité tutorial integrado por:

M.I. José Avidán Bravo Jácome

M.I. Ana Alicia Palacios Fonseca

Dr. Rodrigo Roblero Hidalgo

Dr. Roel Simuta Champo

M.I. Eduardo Alexis Cervantes Carretero

Director de tesis

---

Dr. Rodrigo Roblero Hidalgo

Codirector de tesis:

---

Dr. Roel Simuta Champo

Jiutepec, Morelos, México, junio del 2023  
Instituto Mexicano de Tecnología de Agua





**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**IMTA**  
INSTITUTO MEXICANO  
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Instituto Mexicano de Tecnología de Agua



2023  
AÑO DEL  
**Francisco**  
**VILLA**  
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



## AGRADECIMIENTOS

Expreso mi total agradecimiento al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) por darme la oportunidad en seguir con mis estudios académicos y aportarme una visión íntegra en uno de los temas que siempre me llama la atención y me apasiona en torno al agua en sus diversos temas que se derivan de ella. Así como también, a la CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías) por el apoyo a través de la Beca Nacional de Posgrado.

A manera personal, agradezco a mi tutor de este trabajo de investigación, al Dr. Rodrigo Roblero Hidalgo por la confianza y permitir trabajar en este tema de investigación que disfruté mucho hacerlo y del que aprendí diversos aspectos como: el uso y manejo de cuencas, hidrología superficial, potamología, Sistemas de Información Geográfica (SIG); además, por darme la oportunidad de conocer y colaborar otros campos de acción más allá de las actividades académicas y de investigación.

A mi cotutor Dr. Roel Simuta Champo y a los sinodales que integran el jurado: a los M. I. José Avidán Bravo Jácome, Ana Alicia Palacios Fonseca y Alexis Cervantes Carretero, aunque no se ha podido tener un acercamiento con ustedes en el seguimiento de este trabajo de investigación derivado por las contingencias de la reciente pandemia. Yo valoro y les agradezco mucho por la asesoría, las correcciones y contribuciones de todos ustedes a lo largo de este trabajo, además de su amabilidad y los consejos que me han brindado, enseñanzas que los tendré muy en cuenta.

A los maestros e investigadores, administrativos y trabajadores del IMTA quienes brindaron y compartieron muchos de los temas, conocimientos, experiencias, consejos, críticas y exigencias en torno a mi formación y desempeño académico, profesional y





personal a las licenciadas Belem Arroyo Ramírez, María Elena Rivero Bustos, Lisset Munguía Vásquez e Isabel Rodríguez.

A los maestros: Vladimir Contreras Vázquez, Héctor Giovanni Rodríguez Vázquez, Edwin Fernando Zetina Robleda, Julio César Soriano Montalvo y Cecia Millán Paineo.

A los doctores Susana Ortega López, Adriana Caballero Serapio, Víctor Manuel Arroyo Correa, José Antonio Quevedo Tizado, Gabriel Ruiz Martínez, Juan Gabriel García Maldonado, Héctor Alonso Ballinas Gonzáles, Roland Ernesto Ontiveros Capurata, José Agustín Breña Naranjo, Ariosto Aguilar Chávez y David Ortega Gaucín.

A mis compañeras y compañeros de la generación 2020-22 del posgrado IMTA de Maestría de Ciencias y Tecnología del Agua del área de Ingeniería en Sistemas Hidráulicos (a la que orgullosamente pertenezco) y del posgrado IMTA-UNAM. Especialmente a Violeta Hernández, Deyanira Cruz, Sofía Palacios y Joel Arroyo. Con quienes conviví y compartimos materias en los primeros tres semestres a distancia y en tener la dicha de conocerlos a todos ustedes en persona durante el último cuatrimestre.

De igual forma para los demás compañeros, colegas, amigos y conocidos del posgrado con quienes compartí de todo un poco muchas hidroaventuras en mi breve estadía en Jiutepec, Morelos. Particularmente a los futuros maestros y doctores: Sofía Martínez Mariana Rivera, Nadia Cruz, Tania Galván, Guillermo Martínez, Edgar Hernández, Vanesa Moreno, Alejandra Salazar, Jonatan Ponce, Carmen Espinoza, Karla Vázquez, Flavio Acosta, Diana Perea y Estrellita Nájera.

Extiendo también mis agradecimientos a los trabajadores de asistencia, apoyo y seguridad del IMTA, así como también de conocidos, amistades y varias personas que





he conocido . Bajo diferentes circunstancias he tenido la dicha de conocerlos y charlar de todo un poco. Son tantos los nombres que me llevaría algo de tiempo en hacer memoria y dedicar varias líneas para mencionar a todos ustedes.

Una vez más, doy mis agradecimientos a la Facultad de Ingeniería Agrohidráulica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) de donde egresé orgullosamente como Ingeniero Agrohidráulico en la compañía de profesores, compañeros colegas, amigos y al resto de las personas que he conocido a lo largo de mi carrera, que me han permitido poder desenvolverme como profesionista y como persona, donde de ahí me aconsejaron y me motivaron en continuar con mi preparación en el posgrado.

Un agradecimiento especial a quienes formaron y aún forman parte del colectivo de Comunidad Bonóbica, especialmente a los colaboradores cercanos y miembros que se han sumado y que aún creen a este grandioso proyecto que lleva poco de más de 3 años. Sobre todo, al staff y con quienes he conversado noches enteras de diversos temas y compartir una visión de comunidad desde nuestras pantallas, especialmente durante los tiempos de contingencia sanitaria e incluso, tener la dicha de conocer a varios de ustedes en persona en diversos lugares de México.

Por último, a mi familia, especialmente una persona muy especial que hasta la fecha me sigue apoyado desde que tengo memoria: a mi madre Josefina Cortés López, a quien le debo tantas cosas, sobre todo: en valorar mi esfuerzo, a tener un aprecio al estilo de vida campirana que siempre disfruto al llegar a casa ante la naturaleza, a tener presente mis raíces; sobre todo, en estar agradecido con quienes he mencionado a lo largo de todos estos párrafos.





## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 Objetivo general</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>8</b>
<b>III. HIPÓTESIS</b> .....	<b>9</b>
<b>IV. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>10</b>
<b>4.1 Situación actual de los recursos hídricos superficiales</b> .....	<b>10</b>
<b>4.2 Antecedentes de los estudios de disponibilidad hídrica</b> .....	<b>12</b>
<b>4.3 Marco normativo de la disponibilidad hídrica superficial</b> .....	<b>15</b>
<b>4.4 Descripción de las variables de disponibilidad hídrica superficial</b> .....	<b>18</b>
<b>4.5 Reportes de disponibilidad de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta</b> .	<b>25</b>
<b>4.6 Escenarios de cambio climático</b> .....	<b>29</b>
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
<b>5.1 Descripción de la zona de estudio</b> .....	<b>32</b>
<i>5.1.1 Ubicación geográfica</i> .....	<b>32</b>
<i>5.1.2 Sistema hidrológico</i> .....	<b>35</b>
<i>5.1.3 Interconexión hidrológica</i> .....	<b>38</b>
<i>5.1.4 Caracterización social</i> .....	<b>41</b>
<b>5.2 Metodología</b> .....	<b>45</b>
<i>5.2.1 Aspectos y consideraciones generales</i> .....	<b>45</b>
<i>5.2.2 Determinación del volumen de escurrimientos naturales</i> .....	<b>46</b>
<i>5.2.3 Determinación del volumen de extracciones y retornos</i> .....	<b>47</b>
<i>5.2.4 Determinación del volumen de otras derivaciones</i> .....	<b>51</b>
<i>5.2.5 Estimación del volumen de disponibilidad a nivel de cuenca</i> .....	<b>52</b>







**VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 54**

**7.1 Resultados obtenidos..... 54**

**7.2 Discusión ..... 68**

**VII. CONCLUSIONES..... 71**

**VIII. ANEXOS ..... 74**

**8.1 Análisis de la precipitación anual a partir de estaciones climatológicas..... 74**

*8.1.1 Selección de las estaciones climatológicas para el período 1961-2020..... 74*

*8.1.2 Distribución de la precipitación media anual 1961-2020..... 79*

*8.2.3 Estimación de la precipitación media anual a través de isoyetas ..... 81*

*8.1.4 Estimación de la precipitación media anual para el año 2034 ..... 84*

**8.2 Determinación del volumen de escurrimientos por el método indirecto ..... 86**

*8.2.1 Creación de la capa integrada de edafología, vegetación y uso de suelo..... 86*

*8.2.2 Estimación del coeficiente de escurrimiento a partir del parámetro K..... 88*

*8.2.3 Estimación de los diferentes casos del volumen de escurrimiento ..... 93*

**8.3 Análisis demográfico para el volumen de usos público-urbano y servicios.... 95**

*8.3.1 Selección y distribución de las localidades en cada cuenca. .... 95*

*8.3.2 Estimación del volumen para los sectores público-urbano y servicios. .... 96*

**8.4 Determinación del volumen de extracciones y retornos por uso consuntivo.100**

*8.4.1 Recopilación de los títulos de aguas nacionales en el REPDA ..... 100*

*8.4.2 Análisis y distribución del volumen regado en los DR a nivel de cuenca .... 101*

*8.4.3 Estimación y proyección del volumen de extracciones y de retornos..... 103*

**8.5 Determinación del volumen de otras derivaciones..... 108**

*8.5.1 Estimación del volumen de exportaciones e importaciones ..... 108*

*8.5.2 Estimación del volumen de mermas derivados de embalses..... 111*

**8.6 Resultados del proceso de estimación del volumen de disponibilidad ..... 113**

**IX. REFERENCIAS CONSULTADAS ..... 123**





## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Agrupación de los usos de aguas nacionales registrados en el REPDA .....	11
Cuadro 2. Evolución de la cobertura de estudios de disponibilidad superficial .....	14
Cuadro 3. Categorías del tipo de suelo de acuerdo con sus características edáficas. ....	22
Cuadro 4. Valores del parámetro K, según el tipo de vegetación y uso de suelo .....	23
Cuadro 5. Porcentajes de retorno con relación al rango de diferentes usos .....	24
Cuadro 6. Publicaciones del DOF sobre disponibilidad superficial de la RH-30.....	25
Cuadro 7. Volúmenes de escurrimiento, extracción y disponibilidad por reporte.....	27
Cuadro 8. Cuencas hidrográficas que integran la RH-30.....	34
Cuadro 9. Principales cuerpos de agua dentro de la RH-30.....	36
Cuadro 10. Distribución de la población y superficie de la RH-30 por estado.....	41
Cuadro 11. Principales centros poblacionales de la RH-30 .....	42
Cuadro 12. Municipios situados dentro del parteaguas de la RH-30.....	44
Cuadro 13. Volumen reservado en Mm <sup>3</sup> entre las 69 cuencas de la RH-30 .....	50
Cuadro 14. Valores de disponibilidad a diferentes escenarios.....	55
Cuadro 15. Zonas de disponibilidad superficial.....	56
Cuadro 16. Cuantificación de cuencas por la zona de disponibilidad.....	57
Cuadro 17. Márgenes de diferencia en Mm <sup>3</sup> entre los escenarios actual y futuros .....	63
Cuadro 18. Comparación de los volúmenes en Mm <sup>3</sup> de disponibilidad actual.....	64
Cuadro 19. Cuencas que representan el total de disponibilidad de la RH-30.....	65
Cuadro 20. Valores de escurrimiento, extracción y disponibilidad por escenario.....	66
Cuadro 21. Volúmenes de escurrimiento, extracción y disponibilidad (2007-2034) .....	67
Cuadro 22. Valores A <sub>C</sub> y P obtenidos en cada cuenca de la RH-30 .....	83





Cuadro 23. Valores  $P_{4.5}$  y  $P_{8.5}$  en  $Mm^3$  obtenidos en cada cuenca de la RH-30 .....85

Cuadro 24. Adaptación del Cuadro 3 con los grupos de suelo en la RH-30.....89

Cuadro 25. Adptación del Cuadro 4 con los tipos de vegetación en la RH-30.....90

Cuadro 26. Valores  $K$  y  $C_e$  obtenidos a partir de  $P$  a nivel de cuenca .....92

Cuadro 27. Valores de  $C_e$  obtenidos a partir de  $P_{4.5}$  y  $P_{8.5}$  a nivel de cuenca .....93

Cuadro 28. Valores de  $C_p$  en sus diferentes condiciones a nivel de cuenca .....94

Cuadro 29. Dotación media urbana para cada subregión hidrológica .....97

Cuadro 30. Categorías asignadas para las localidades dentro de la RH-30 .....98

Cuadro 31. Distribución superficial de los Distritos de Riego a nivel de cuenca..... 102

Cuadro 32. Porcentaje de retornos aplicados para cada uso consuntivo.....105

Cuadro 33. Valores de  $U_{ca}$  y  $R_e$  estimados en el año 2020 a nivel de cuenca..... 106

Cuadro 34. Valores de  $U_{ca}$  y  $R_e$  estimados en el año 2034 a nivel de cuenca..... 107

Cuadro 35. Especificaciones de las diez estaciones hidrométricas fronterizas..... 109

Cuadro 36. Distribución del volumen de importaciones por cuenca fronteriza..... 110

Cuadro 37. Valores de área y de evaporación de cada emblase..... 112

Cuadro 38. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario actual 2020 ..... 114

Cuadro 39. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario 2034 RCP 4.5 .... 117

Cuadro 40. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario 2034 RCP 8.5 .... 120





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Volúmenes anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México. ....	10
Figura 2. Distribución de los distintos usos de agua especificados por el REPDA .....	12
Figura 3. Dinámica de las variables de la Ecuación 2 en una cuenca hidrológica.....	17
Figura 4. Evolución del escurrimiento, extracción y disponibilidad total de la RH-30...28	
Figura 5. RCP de los principales contaminantes atmosféricos hasta el año 2100 .....	30
Figura 6. Subdivisión de la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta .....	33
Figura 7. Red hídrica superficial y principales cuerpos de agua en la RH-30 .....	37
Figura 8. Interconexión de la SRH Grijalva-La Concordia .....	38
Figura 9. Interconexión de la SRH Grijalva-Tuxtla Gutiérrez.....	39
Figura 10. Interconexión de la SRH Grijalva-Villahermosa.....	39
Figura 11. Interconexión de la SRH Lacantún .....	40
Figura 12. Interconexión de la SRH Usumacinta-Laguna de Términos .....	41
Figura 13. Principales centros poblacionales dentro de la RH-30 .....	43
Figura 14. Proceso para la determinación del volumen de escurrimientos naturales .....	46
Figura 15. Proceso para la determinación del volumen de extracciones y retornos .....	48
Figura 16. Proceso para la determinación del volumen de otras derivaciones .....	52
Figura 17. Proceso para la determinación de la disponibilidad media anual .....	53
Figura 18. Zonas de disponibilidad para el escenario actual 2020 .....	59
Figura 19. Zonas de disponibilidad para el escenario 2034 RCP 4.5 .....	60
Figura 20. Zonas de disponibilidad para el esceanrio 2034 RCP 8.5 .....	61
Figura 21. Proyección del escurrimiento, extracción y disponibilidad de la RH-30 .....	67
Figura 22. Primera selección de las estaciones climatológicas.....	75





Figura 23. Consulta de una estación en la Información Estadística Climática ..... 76

Figura 24. Reporte de los valores mensuales de lluvia total ..... 76

Figura 25. Índice de estaciones con los meses con registros al año (fragmento) ..... 77

Figura 26. Segunda selección de estaciones climatológicas ..... 78

Figura 27. Resumen de registros mensuales por estación (fragmento de serie) ..... 80

Figura 28. Distribución de la precipitación media anual por interpolación IDW ..... 81

Figura 29. Isoyetas generadas a partir del raster de precipitación media anual ..... 82

Figura 30. Tabla de atributos con los valores de precipitación y área (fragmento) ..... 82

Figura 31. Claves y cartas cartográficas escala 1:250 000 sobre la zona de estudio ..... 87

Figura 32. Capa integrada con la información edáfica, vegetación y uso de suelo ..... 88

Figura 33. Tabla de atributos de la capa integrada (fragmento). ..... 91

Figura 34. Consulta de la población total a nivel localidad (fragmento) ..... 95

Figura 35. Distribución de las localidades en la RH-30 por municipio ..... 96

Figura 36. Títulos de aprovechamiento superficial (fragmento) ..... 100

Figura 37. Distribución de los Distritos de Riego dentro de la RH-30 ..... 102

Figura 38. Volúmenes proyectados por uso al 2034 en cada cuenca (fragmento) ..... 104

Figura 39. Localización de las estaciones hidrométricas fronterizas en la RH-30 ..... 108

Figura 40. Localización de las principales presas en la RH-30 ..... 111





## RESUMEN

El agua, es un recurso natural que juega un papel importante en el desarrollo de un país, permite impulsar las actividades en los sectores agrícola, industrial, público y energético. Garantizar y preservar el vital líquido requiere del entendimiento de la dinámica de los recursos hídricos, uno de los instrumentos que permite la toma de decisiones en materia de gestión y planeación son los estudios de disponibilidad hídrica de una cuenca. No obstante, ante el constante aumento de la demanda hídrica derivado del crecimiento poblacional y de los efectos del cambio climático. presentando un efecto sobre la disponibilidad hídrica para los años futuros. Por lo que, todo lo anterior debe considerarse en la proyección de los escenarios futuros, para hacer un diagnóstico en la disponibilidad del agua superficial, particularmente en las 83 cuencas que integran la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta (RH-30), cuya amplia y compleja red hídrica concentra alrededor del 23% de la disponibilidad total nacional y con un gran potencial para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos. La presente investigación, contempla un escenario base para el período 2000-2020, del cual se elaboraron las tendencias históricas climáticas y demográficas, en combinación con los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 para el año 2034. Se realizó la estimación de los volúmenes de escurrimiento y de extracción actual y futura para determinar la disponibilidad de aguas superficiales a nivel de cuenca, considerando lo establecido en la NOM-011-CONAGUA-2015. Los resultados obtenidos indican que actualmente existen cinco cuencas hidrográficas con problemas de disponibilidad; en contraste, para el año 2034 se espera que dicho número se incremente a catorce cuencas en ambos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 Y RCP 8.5).

**Palabras clave:** Aguas superficiales, disponibilidad hídrica, escenarios de cambio climático, NOM-011-CONAGIA-2015, Región Hidrológica 30, Grijalva-Usumacinta





## ABSTRACT

Water is a natural resource that plays a significant role in the development of a country, allowing the promotion of activities in the agricultural, industrial, public and energy sectors. Guaranteeing and preserving the vital liquid requires an understanding of the dynamics of water resources; one of the instruments that allows decision-making in management and planning are the studies of water availability in a basin. However, given the constant increase in water demand due to population growth and the effects of climate change, this will influence water availability for future years. Therefore, all of the above should be considered in the projection of future scenarios, to make a diagnosis of surface water availability, particularly in the 83 basins that make up the Hydrological Region 30 Grijalva-Usumacinta (RH-30), whose extensive and complex water network concentrates about 23% of the total national availability and with a great potential for the development of hydroelectric projects. The present research includes a base scenario for the period 2000-2020, from which historical trends climatic and demographic, in combination with the climate change scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5 for the year 2034. The estimation of current and future runoff and extraction volumes performed to determine the availability of surface water at the basin level, considering the provisions of NOM-011-CONAGUA-2015. The results obtained indicate that there are currently five watersheds with availability problems; in contrast, by 2034 this age expected to increase to fourteen watersheds in both climate change scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5).

**Key words:** Surface water, water availability, climate change scenarios, NOM-011-CONAGIA-2015, Hydrological Region 30, Grijalva-Usumacinta.





## I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Lozano-Parra (2018), el agua constituye un elemento de tal magnitud que está presente y juega un papel destacado en casi todos los procesos y ciclos naturales del planeta. Además, el agua es un medio crucial para la subsistencia, producción e intercambio de bienes y servicios, especialmente en los sectores agrícola, industrial, público-urbano y energético (Sosa, 2012).

Sin embargo, el acceso de este importante recurso se encuentra limitada por naturaleza. Es decir, aunque el planeta Tierra contiene agua en abundancia, no siempre se encuentra en el momento y lugar adecuado, además de considerar también otros aspectos importantes como la cantidad y calidad apropiada para su aprovechamiento de dichos sectores mencionados anteriormente.

Aunado con lo anterior, Breña-Puyo y Breña-Naranjo (2017) resaltan la relevancia de estimar la disponibilidad del agua a partir de una cuenca hidrográfica como instrumento para la gestión de los recursos hídricos. A partir de los resultados de dichos estudios se podrán establecer los niveles de escasez o de abundancia del agua, asignar las demandas de consumo de agua requeridas, cuyas acciones derivan a las planeaciones a corto, mediano o largo plazo.

Además, Bunge (2010) menciona que la disponibilidad del agua influye en la economía, la salud, la producción de alimentos, la generación de electricidad, la actividad industrial y el medio ambiente. Tanto la escasez como la abundancia del recurso agua son determinantes para el desarrollo de nuestro país, no solamente en el ámbito actual sino también para los siguientes años donde se prevén con mayores limitaciones de este importante vital líquido.







Datos recientes de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2022a) estiman que, en México, el volumen de agua renovable per cápita media en el año 2020 es de 3,663 metros cúbicos y para el año 2030 se prevé una disminución a 3,285 metros cúbicos. Sin embargo, en la Sexta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2018) prevé una tendencia a la baja a niveles cercanos e incluso inferiores a los mil metros cúbicos por persona para el año 2030.

En el año 2016, para México 649 de las 757 cuencas contaban con disponibilidad y mientras que el resto (108 cuencas) están en déficit. De estos últimos, se tienen volúmenes de agua concesionados que superan al volumen de escurrimiento y de recarga de los acuíferos, situación que genera: escasez del recurso, conflictos entre los usuarios y diversos efectos perjudiciales (DOF, 2018a). Ante ello, es importante realizar investigaciones para poder determinar la evolución de dichas disponibilidades futuras, tomando en cuenta los factores que lo influyen.

Uno de los actores que intervienen directamente a esta problemática son los efectos derivados del cambio climático cuyos fenómenos meteorológicos extremos, reducen la capacidad de previsión de la disponibilidad de recursos hídricos, disminuyen la calidad del agua y constituye una amenaza al desarrollo sostenible, la biodiversidad y el disfrute de los derechos humanos al agua potable y el saneamiento en todo el mundo (Un-Water, 2019).

Aunado a ello, con el reciente Sexto Informe de Evaluación realizado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC,2021) se estima un notable aumento hacia el año 2040 de la temperatura superficial a nivel global,





cuyos márgenes para los escenarios de bajo (RCP 4.5) y de alto impacto (RCP 8.0) varían de los 1.2 a 1.8 °C, y de los 1.3 a 1.9 °C respectivamente.

En el mismo informe, reafirma la existencia del aumento en el nivel del mar y el derretimiento de los glaciares y casquetes polares, ocasionando importantes alteraciones en la precipitación, las cuales tiendan a ser cada vez más intensos y frecuentes en la mayoría de las masas terrestres de latitud media y en regiones tropicales húmedas, modificando las relaciones en los procesos de precipitación-escurrimiento.

En el caso particular de nuestro país, Martínez-Austria y Patiño-Gómez (2012) hicieron un diagnóstico de los efectos esperados del cambio climático para el periodo entre 2015 a 2039. Sobre la temperatura, se estima un incremento de 3 °C para la zona norte del país, mientras el resto del país podría oscilar un aumento entre 1 a 1.5 °C. En cuanto al pronóstico de la precipitación, se estima una disminución general entre el 10 y el 20 por ciento en todo el territorio nacional.

Sosa-Rodríguez (2012) resalta que, la problemática de la escasez y abundancia del agua no es sólo resultado de las variaciones climáticas que han impactado de manera negativa el ciclo del agua, sino también de las consecuencias de las decisiones en materia de su gestión a lo largo de la historia, las cuales han repercutido en el crecimiento demográfico, la concentración de las actividades intensivas y la degradación ambiental.

Uno de los indicadores de referencia para dimensionar el grado de impacto de dichas decisiones es a través de las proyecciones de la población. De acuerdo con datos proporcionados por la Comisión Nacional de Población (CONAPO,2016), se proyecta





para México una tasa de crecimiento del 0.62% media anual; es decir, pasaría de los 121 a 138 millones de habitantes para el período 2015-2030. Si consideramos la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de un consumo de 100 litros por habitante (CONAP, 2022), se necesitarán para el 2030 un volumen 1 700 Mm<sup>3</sup> adicionales.

La prospectiva del cambio climático con los cambios en el ciclo hidrológico y las crecientes demandas de agua impulsadas por el crecimiento demográfico y el crecimiento económico, representan un riesgo en la disponibilidad y la seguridad hídrica en México y para el resto el mundo, con lo cual imponen desafíos importantes y cruciales para este siglo (Bretas et al., 2019).

Haciendo mención a las consideraciones mencionadas anteriormente, éstas deben tomarse en cuenta en el análisis de la prospectiva de la disponibilidad hídrica a través de escenarios actuales y futuros que permitan aportar resultados confiables y precisos, partiendo de las tendencias históricas a partir de las variables climatológicas y demográficas, así como del apoyo de modelos e indicadores hidrológicos y geoestadísticos que muestren la evolución espacial y temporal de la disponibilidad de agua superficial.

El estudio, análisis y comparación de la situación actual de la disponibilidad del agua con la proyectada en el futuro, nos permiten elaborar diagnósticos más confiables para la toma de decisiones en materia de gestión y planeación de dicho recurso para la limitación y preservación de las ya existentes para no agudizar más la sobreexplotación en las regiones con déficit. Por otra parte, se busca localizar aquellas zonas con la disponibilidad necesaria para la concesión de volúmenes para nuevos usos consuntivos,





especialmente para el desarrollo de importantes obras de infraestructura hídrica, especialmente en la implementación y adaptación de nuevas fuentes hidroeléctricas de pequeña escala.

Aunado con lo anterior y en el ámbito de la propuesta B-S-88325 “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), se deriva el estudio en la evolución de disponibilidad de las 757 cuencas que integran la República Mexicana. Dado por el tamaño del alcance, el estudio se enfocará en función a las 37 regiones hidrológicas existentes. Para este trabajo de investigación, se enfocará particularmente en la Región Hidrológica número 30 Grijalva-Usumacinta (RH-30), el cual está conformado por 83 cuencas hidrológicas.

En esta Región Hidrológica, además de tener una amplia red hídrica superficial, cuenta con las disponibilidades más importantes del país, ya que concentra alrededor de los 104 Mm<sup>3</sup> de agua renovable, casi el 23% del total nacional (CONAGUA, 2022a). Lo cual, se puede considerar a la RH-30 como una región potencial para desarrollo de proyectos hidroeléctricos.

La consideración anterior se confirma con el Sistema Hidroeléctrico del Río Grijalva (conformado por las presas: Belisario Domínguez o ‘Angostura’, Manuel Moreno Torres o ‘Chicoasén’, Nezahualcóyotl o ‘Malpaso’ y Ángel Albino Corto o ‘Peñitas’) cuyas presas se sitúan a lo largo del Río Grijalva, una de las vertientes principales de la RH-30.





Por otro lado, cabe destacar que la RH-30 ha soportado los efectos del cambio climático en los últimos años, mediante la presencia de huracanes de mayor magnitud que provocan precipitaciones intensas que provocan inundaciones frecuentes y catastróficas en las zonas bajas y costeras, así como desbordamiento de ríos y embalses, y deslaves en las zonas altas.

Este trabajo de investigación se apoyó con la información técnica, normativa y científica que se permitió analizar la evolución de disponibilidad de aguas nacionales superficiales de la RH-30 y su prospectiva anual hacia el 2034, año considerado como alcance en el marco del Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2020-2034, elaborado por la Secretaría de Energía (SENER), donde se aborda la planeación anual del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) con un horizonte de 15 años y concreta la política energética nacional en materia de electricidad (SENER,2020).

Con la información y los resultados obtenidos en este trabajo, pueden ser empleados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para que, mediante la disponibilidad hídrica superficial de las 83 cuencas de la RH-30, puedan tomar decisiones en cuanto a la planeación de proyectos en el sector de las pequeñas centrales hidroeléctricas.

Este proceso metodológico solamente puede ser aplicado en la RH-30, puede ser replicado para el resto de las Regiones Hidrológicas del territorio nacional; e incluso, sea adaptado de acuerdo con la información disponible y a las condiciones físicas y de gestión de cuencas para la elaboración de estudios de disponibilidad en otras regiones del mundo.





Cabe mencionar que, dicha propuesta aquí descrita, fue aprobado en la Convocatoria S0019-2018-05 “Cooperación Internacional entre México y la República Popular de China para la investigación en la planificación y desarrollo de centrales hidroeléctricas de energía renovable, ambiental y socialmente sustentables” del Fondo Sectorial CONACYT-SENER para la Sustentabilidad Energética.





## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Realizar un análisis de disponibilidad hídrica superficial de las 83 cuencas que conforman la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta, partiendo de su situación actual en el año 2020 con miras prospectivas hacia el año 2034 a través de escenarios de cambio climático.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Estimar el volumen de escurrimientos naturales actuales mediante el análisis de la relación precipitación-escurrimiento, considerando las pérdidas de los volúmenes de evaporación de los principales cuerpos de agua.
- b) Estimar el volumen de extracciones concesionados de los usos agrícola, pecuario e industrial, así como del consumo directo de la población a través el cálculo de la dotación anual por habitante para los usos doméstico y público-urbano.
- c) Evaluar la evolución del volumen disponible de agua superficial comparándolo con el historial de estudios y actualizaciones previamente realizadas y publicadas en el Diario Oficial de la Federación.
- d) Describir la metodología alterna para el cálculo del volumen de disponibilidad media superficial que muestre la interacción de las variables previamente estimadas.





### **III. HIPÓTESIS**

De acuerdo con los pronósticos esperados en la aplicación de los escenarios de cambio climático, para el año 2034 se espera una tendencia general a la baja de los volúmenes de disponibilidad de aguas superficiales comparado con los volúmenes estimados en la condición actual, principalmente en la Subregiones Hidrológicas en donde se localizan los distritos de riego (Cuxtepeques, Río Blanco y San Gregorio) y las ciudades más importantes (Chiapa de Corzo, Comitán de Domínguez, Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de las Casas) situadas en la zona sur de la RH-30 (Grijalva-La Concordia y Grijalva-Tuxtla Gutiérrez) donde se prevén magnitudes más bajas de disponibilidad hídrica y la ampliación del número de cuencas con déficit en los escenarios futuros.

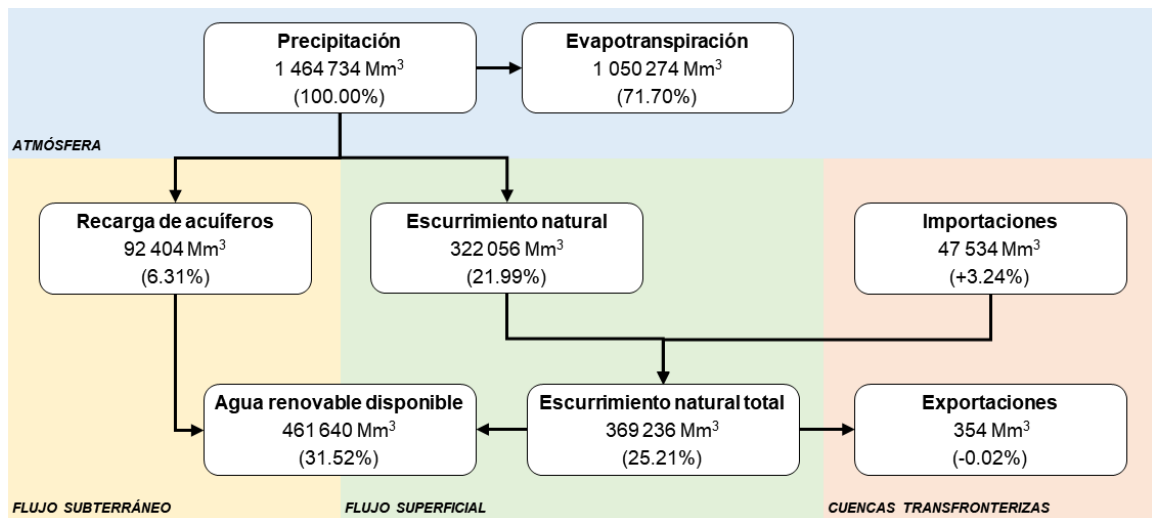




## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Situación actual de los recursos hídricos superficiales

De acuerdo con los registros del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA, 2022), México presentó un ingreso anual de 1.46 billones de metros cúbicos ( $\text{Bm}^3$ ) de agua en forma de precipitaciones pluviales durante el año de 2022; dicha cantidad de agua, alrededor de la quinta parte se distribuyó de manera superficial. En la Figura 1 se muestra detalladamente la dinámica del ciclo hidrológico en nuestro país.



Elaboración propia a partir de SINA (2022)

**Figura 1. Volúmenes anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México.**

Por otro lado, Sosa-Rodríguez (2017) menciona que la distribución de la precipitación pluvial no es homogénea de manera territorial y temporal: alrededor del 77% de las lluvias anuales se concentran entre los meses de junio a octubre, distribuidas principalmente en las regiones oriente, sur y sureste, cuyos climas generalmente son templados a tropicales húmedos y subhúmedos.

Por su parte, Bunge (2010) hace mención acerca de las regiones centro y norte de México donde se presentan menores volúmenes de escurrimientos naturales y cuyas





corrientes no son permanentes en todo el año, debido a que las precipitaciones son menores de los 500 mm y a su condición climática predominantemente es árido y semiárido.

En la RH-30, el escurrimiento medio anual fue de 72,793 Mm<sup>3</sup> en el año 2020, siendo la Región Hidrológica con el mayor volumen de escurrimientos superficiales del país, gracias a su amplia red hídrica de los ríos Grijalva, Usumacinta y Candelaria cuyos nacimientos provienen de la República de Guatemala representando una importación de alrededor de los 44,080 Mm<sup>3</sup> (SINA, 2021).

En cuanto a los usos consuntivos de agua a nivel nacional, datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA, 2022), en el año 2020 se reporta una asignación de 508,803 títulos con un volumen total concesionado de 89,548 Mm<sup>3</sup>; de dicho volumen, alrededor del 60.6% (54 mil Mm<sup>3</sup>) corresponde a fuentes de extracción superficial (ríos, lagos y embalses), siendo los sectores agrícola y de abastecimiento público los usos consuntivos a los que más volumen se destinan (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Agrupación de los usos de aguas nacionales registrados en el REPGA**

Uso consuntivo agrupado	Extracciones superficiales (miles de Mm <sup>3</sup> )	Extracciones subterráneas (miles de Mm <sup>3</sup> )	Volumen total (miles de Mm <sup>3</sup> )	Porcentaje de extracción total
Agrícola	42.82	25.01	67.83	75.7
Abastecimiento público	5.70	7.46	13.17	14.7
Industria abastecida	2.06	2.40	4.46	5.0
Energía eléctrica*	3.65	0.45	4.10	4.6
Total	54.23	35.31	89.55	100.0

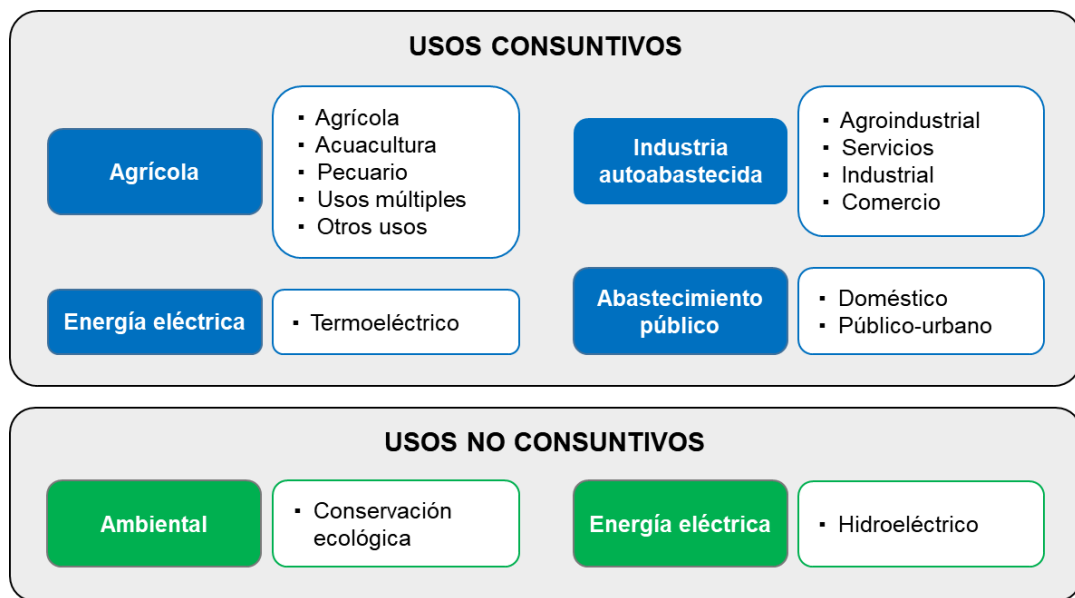
\*Excluyendo centrales hidroeléctricas  
Fuente: CONAGUA (2022a)

De acuerdo con la última actualización de disponibilidad media anual superficial realizado en el 2020, del volumen de agua extraído en la RH-30 es de 70,720 Mm<sup>3</sup>; de



los cuales, 1,388.5 Mm<sup>3</sup> se destinaron a los diferentes usos consuntivos, el resto se traduce en forma de retornos, principalmente por las presas hidroeléctricas que operan en la RH-30 (DOF, 2020), mismas que son reincorporadas al flujo de escurrimientos hacia aguas abajo.

Es importante señalar que, el término de *uso agrupado*, que se indica en el Cuadro 1, abarca los rubros que cataloga el REPDA para identificar el tipo de uso específico de cada título de concesión, así como también en su distinción entre los usos consuntivos y no consuntivos. En el siguiente esquema (Figura 2) se sintetiza dicha distinción:



Elaboración propia

**Figura 2. Distribución de los distintos usos de agua especificados por el REPDA**

#### 4.2 Antecedentes de los estudios de disponibilidad hídrica

De acuerdo con Huacuz-Villamar (2016), desde la década de 1980 se efectuaron los primeros estudios de disponibilidad hídrica por parte de la CFE, con el propósito de identificar zonas potenciales para el planteamiento y diseño de centrales hidroeléctricas.





Esto se haría a partir de los registros obtenidos de las estaciones hidrométricas que corresponden a la oferta y, de los títulos de concesión vigentes en el REPDA que representan al volumen de agua demandado, cuyos registros datan a partir del año de 1994.

En 1992, se promulgó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la Ley de Aguas Nacionales (LAN); en el cual, destaca la importancia de la estimación de la disponibilidad de aguas nacionales superficiales para el otorgamiento de títulos de concesión para su aprovechamiento. Facultando a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) la obligación de estimar y publicar la disponibilidad media anual a nivel de cuenca (DOF, 2020b).

Con la finalidad de dar cumplimiento con los procedimientos y las normativas especificadas por la LAN, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) publicó en el DOF en el año 2002 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” (Silva-Hidalgo et al, 2013).

A partir de la NOM-011-CONAGUA-2000, en el año 2003 se realizó el primer estudio de disponibilidad en las 19 cuencas de río Lerma-Chapala, perteneciente a la Región Hidrológica número 12 (Lerma-Santiago). A partir de ese año hasta el 2013, la cobertura de disponibilidad alcanzó a las 731 cuencas con corrientes superficiales existentes en la República Mexicana (Cuadro 2).





**Cuadro 2. Evolución de la cobertura de estudios de disponibilidad superficial**

<b>Año del estudio publicado en el DOF</b>	<b>Número de cuencas Hidrológicas estudiadas</b>	<b>Número de Regiones Hidrológicas estudiadas</b>
2003	19	1
2005	31	2
2006	79	6
2007	479	26
2008	676	33
2009	718	36
2010	727	36
2013	731	36
2016	757	37

Fuente: SINA (2022)

Desde que la NOM-011-CONAGUA-2000 entró en vigor en 2002, se hizo una actualización en la que se considera el papel que desempeñan las represas y embalses en la estimación de la disponibilidad superficial. Ante estas novedades, dicha Norma fue remplazada por la NOM-011-CONAGUA-2015, la cual sigue vigente hasta la actualidad.

En el mes de mayo del 2016, se publicó en el DOF el “Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos”. Esto se debe a que la delimitación anterior no era muy precisa y existían otras 26 cuencas sin corrientes perennes que no estaban identificadas (DOF, 2016).

Con esta nueva delimitación de todas las cuencas que hay en el país y con la reciente NOM-011-CONAGUA-2015 se hizo una nueva actualización de disponibilidad para el año 2016. Cuatro años después (2020), se publicó en el DOF una nueva edición, siendo éste el estudio de disponibilidad más reciente en materia de aguas nacionales superficiales de las 37 Regiones Hidrológicas que hay en México.





Bunge (2010) menciona que los datos oficiales de disponibilidad natural nacional de agua superficial y subterráneo son actualizados cada tres años mediante estudios técnicos de cada región hidrológica a cargo de la CONAGUA. Todos los resultados, reportes y actualizaciones efectuados se publican en el DOF por parte de la SEMARNAT.

#### **4.3 Marco normativo de la disponibilidad hídrica superficial**

En términos generales, Bunge (2010) se refiere justamente a la “disponibilidad natural” como la cantidad de agua que se renueva año con año por las precipitaciones; en contraste, el mismo autor considera como “disponibilidad” al volumen que queda después de sustraer de la disponibilidad natural el volumen concesionado para los usos consuntivos, sin llegar a comprometer al equilibrio del ecosistema.

Dichos volúmenes hacen referencia a los escurrimientos superficiales disponibles en una cuenca, los cuales se calculan con base en el principio de continuidad. El escurrimiento natural por cuenca propia es el componente hidrológico más importante que determina el potencial del escurrimiento generado de dicha cuenca (Suárez-Medina *et al*, 2016).

De acuerdo con el artículo 3, sección XXIII de la Ley de Aguas Nacionales (DOF, 1992), la disponibilidad media anual de aguas superficiales es el valor que resulta de la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo. A partir de esta definición, se puede simplificar matemáticamente a través de la Ecuación 1.





$$D = A_b - R_{xy} \quad (1)$$

$$A_b = A_r + C_p + R_e + I_m - E_x - U_c - E_v - A_v \quad (2)$$

$$A_b = O_p - D_c \quad (3)$$

Donde:

**$D$**  Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica (Mm<sup>3</sup>)

**$R_{xy}$**  Volumen anual actual comprometido aguas abajo (Mm<sup>3</sup>)

**$A_b$**  Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo (Mm<sup>3</sup>)

**$A_r$**  Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba (Mm<sup>3</sup>)

**$C_p$**  Volumen medio anual de escurrimiento natural (Mm<sup>3</sup>)

**$R_e$**  Volumen anual de retornos (Mm<sup>3</sup>)

**$I_m$**  Volumen anual de importaciones (Mm<sup>3</sup>)

**$E_x$**  Volumen anual de exportaciones (Mm<sup>3</sup>)

**$U_c$**  Volumen anual de extracción de agua superficial (Mm<sup>3</sup>)

**$E_v$**  Volumen medio anual de evaporación en embalses (Mm<sup>3</sup>)

**$A_v$**  Variación medio anual de variación del almacenamiento en embalses (Mm<sup>3</sup>)

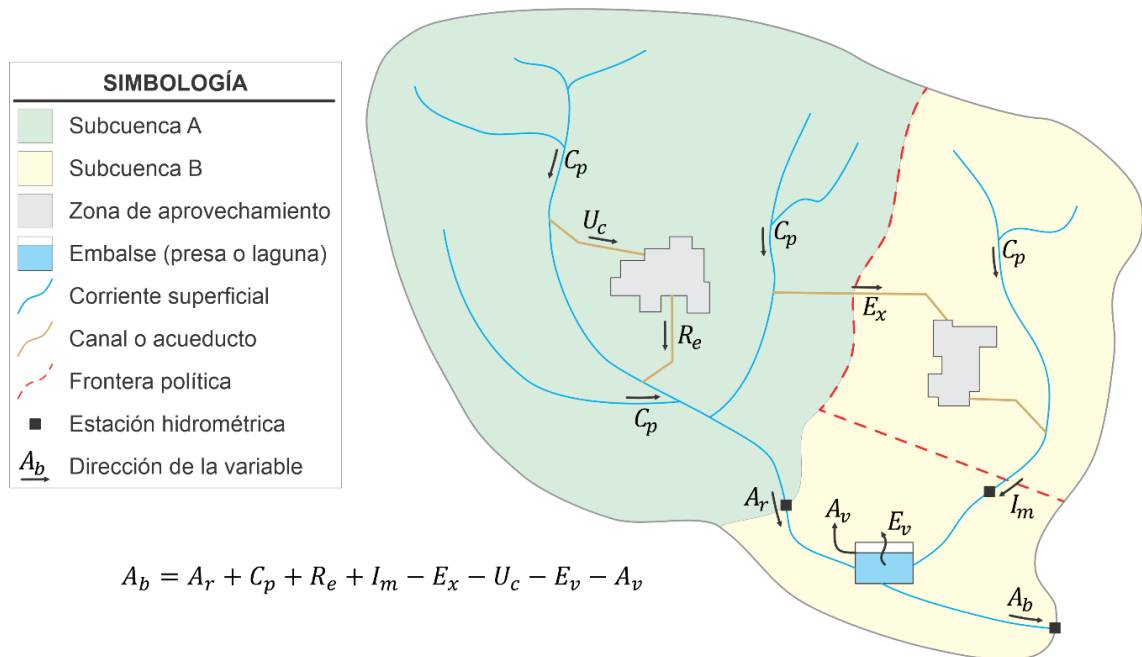
**$O_p$**  Volumen de la oferta potencial ( $O_p = A_r + C_p + R_e + I_m$ )

**$D_c$**  Volumen de la demanda consuntiva ( $D_c = E_x + U_c + E_v + A_v$ )

El valor de  $A_b$  que se muestra en la Ecuación 2, hace énfasis a la estimación del balance hidrológico, en donde: las variables  $A_r$ ,  $C_p$ ,  $R_e$ ,  $I_m$  se tratan de los volúmenes de ingreso en la cuenca a modo de oferta potencial. Mientras que los elementos  $E_x$ ,  $U_c$ ,  $E_v$ ,  $A_v$  representan a las salidas de agua en una cuenca, ya sea en forma de extracciones o por pérdidas que representan la demanda consuntiva (UNESCO, 2006), esta relación se puede simplificar matemáticamente en la Ecuación 3.

Sánchez-Ortiz (2013) explica que, a través del balance se refleja el estado general del comportamiento hidrológico natural de la cuenca en relación con las actividades humanas, proyectando una dinámica entre las variables que intervienen en la ecuación anterior, el cual se puede esquematizar dicha dinámica en la Figura 3.





Elaboración propia

### Figura 3. Dinámica de las variables de la Ecuación 2 en una cuenca hidrológica

Al evaluar la disponibilidad de agua de una cuenca de acuerdo con la metodología establecida por la NOM-011-CONAGUA-2000, se obtiene un valor numérico que indica el volumen de agua disponible, este valor tiene una importancia relativa en relación con las condiciones naturales de la cuenca (Sánchez-Ortiz, 2013).

Para su estimación, se requiere de extensas series históricas y datos adicionales requeridos para el cálculo de la disponibilidad del agua superficial, por lo que resulta complejo almacenar, organizar y manejar esa información dentro de una estructura lógica y flexible (Suárez-Medina et al., 2015).

Derivado con lo anterior, es importante hacer un análisis previo de los registros temporales aplicando las metodologías adecuadas y almacenarlas en forma de base de datos, así como su identificación geoespacial en cuanto a la localización e interconexión entre las cuencas con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para su proyección y análisis geoestadístico.







Es importante señalar que, para este trabajo de investigación, se excluyó la disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero; salvo que, en el dado caso en que se extraigan volúmenes provenientes de acuíferos, cuyos excedentes sean dirigidos de manera superficial, dichos volúmenes se consideraron a modo de importaciones.

#### **4.4 Descripción de las variables de disponibilidad hídrica superficial**

En este apartado se hace una descripción de las variables que intervienen de las ecuaciones 1 y 2, así como la descripción metodológica para su determinación de algunas variables, mismas que se describen en su mayoría de acuerdo con la NOM-011-CONAGUA-2015 (DOF, 2015).

**Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba ( $A_r$ ) y de la cuenca hacia aguas abajo ( $A_b$ ):** La primera variable se deduce a partir de la expresión para calcular el volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo (Ecuación 2) que corresponde a la cuenca en estudio ubicada aguas arriba.

En el caso de tener un sistema de cuencas interconectadas, se debe elaborar un esquema de interconexión, cuyo proceso de cálculo se inicia desde la o las cuencas situadas desde aguas arriba hacia la o las cuencas que se encuentran aguas abajo.

En la situación de que en la cuenca de análisis no presente conexión hacia agua arriba, se considera el valor de  $A_r = 0$ . Continuando el cálculo hacia la siguiente cuenca aguas abajo, el valor de  $A_r$  corresponde a la suma de todos los escurrimientos de  $n$ -cuenas situadas aguas arriba, es decir:





$$A_r = \sum_{i=1}^n \frac{A_{bi}}{a_f} + \frac{A_{bi+1}}{a_f} + \dots + \frac{A_{bn}}{a_f} \quad (4)$$

El valor de  $a_f$  se trata del número de afluentes en que se dividen los escurrimientos aguas abajo de la cuenca, siempre y cuando el número de afluentes sean homogéneos. En la mayoría de los casos sólo se trata de la misma corriente ( $a_f = 1$ ); sin embargo, son comunes cuando se emula acerca de un sistema deltaico.

**Volumen anual actual comprometido aguas abajo ( $R_{xy}$ ):** se determina como parte de los escurrimientos de la cuenca aguas abajo, necesaria para cumplir con los volúmenes asignados y concesionados, considerando los volúmenes correspondientes a reservas, uso ambiental, reglamentos y programación hídrica existentes, así como las limitaciones establecidas en las vedas.

Sin embargo, el proceso de cálculo para la obtención de dicha variable no es explícito en la NOM-011-CONAGUA-2015. No obstante, en un estudio de disponibilidad y balance hidráulico realizado en las cuencas de Río Verde y Juchilapa (CONAGUA, 1999), la variable  $R_{xy}$  se entiende como: el volumen reservado aguas abajo de una cuenca  $x$ , a la fracción del escurrimiento superficial que sale de la misma y que contribuye a satisfacer las extracciones de la cuenca y situada hacia aguas abajo.

Sin embargo, dicho estudio no cuenta con una fórmula para su estimación; por lo que, a partir del desglose de los cálculos desarrollados matemáticamente en el estudio de disponibilidad, se esboza la siguiente ecuación:

$$R_{xy} = (D_{cy} + R_{yz}) \cdot \frac{A_{bx}}{O_{py}} \quad (5)$$





Donde:

$R_{xy}$  Volumen medio anual actual comprometido aguas abajo ( $Mm^3$ )

$D_{cy}$  Volumen de la demanda consuntiva aguas abajo ( $Mm^3$ )

$R_{yz}$  Volumen medio anual comprometido de la cuenca aguas abajo ( $Mm^3$ )

$A_{bx}$  Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca aguas arriba ( $Mm^3$ )

$O_{py}$  Volumen de la oferta potencial aguas abajo ( $Mm^3$ )

Para esta variable, la distribución de las demandas se inicia desde aguas abajo hacia aguas arriba; es decir, el proceso de cálculo se inicia en aquellas cuencas cuyas corrientes superficiales desemboca al mar, a un embalse, estación hidrométrica u otro punto de referencia determinado, hasta las cuencas que principian la interconexión.

Para este tipo de casos, el valor de la primera cuenca de análisis es de  $R_{yz} = 0$ , dado que no existe otra cuenca aguas abajo en la interconexión de cuencas. En el caso en que una cuenca de análisis se llegue a presentar dos o más afluentes hacia aguas abajo, el valor de  $R_{xy}$  se compone de la suma de  $n$ -cuenas situadas aguas abajo a razón con el número de afluentes que dispone, es decir:

$$R_{yz} = \sum_{i=1}^n R_{xyi} + R_{xyi+1} + \dots + R_{xyn} \quad (6)$$

**Volumen promedio anual de escurrimiento natural ( $C_p$ ):** De acuerdo con el Apéndice Normativo “A” de la NOM-011-CONAGUA-2015 (DOF, 2015), existen dos maneras básicas para estimar esta variable: el método directo (Ecuación 7) y el método indirecto (Ecuación 8).

$$C_p = V_2 + U_c + E_x - V_1 - I_m - R_e \quad (7)$$

$$C_p = P \cdot A_c \cdot C_e \quad (8)$$





Donde:

$C_p$  Volumen medio anual de escurrimiento natural ( $Mm^3$ )

$V_1$  Volumen aforado de la estación hidrométrica aguas arriba ( $Mm^3$ )

$V_2$  Volumen aforado de la estación hidrométrica aguas abajo ( $Mm^3$ )

$U_c$  Volumen anual de extracción de agua superficial ( $Mm^3$ )

$E_x$  Volumen anual de exportaciones ( $Mm^3$ )

$I_m$  Volumen anual de importaciones ( $Mm^3$ )

$R_e$  Volumen anual de retornos ( $Mm^3$ )

$P$  Precipitación anual de la cuenca (mm)

$A_c$  Área de la cuenca ( $km^2$ )

$C_e$  Coeficiente de escurrimiento anual (adimensional)

Ambos métodos se basan a partir de registros hidrométricos (volumen aforado) y climatológicos (precipitación) anuales de al menos 20 años vigentes, ya sea de manera consecutiva o por períodos. Si la cuenca tiene suficiente información hidrométrica se aplica el método directo; de lo contrario, se opta por el método indirecto, basado en los procesos de precipitación-escurrimiento.

Si bien, las salidas naturales que se tengan a lo largo del cauce analizado, tales como la evapotranspiración por la vegetación ribereña, la infiltración y la evaporación de la superficie libre del agua expuesta a lo largo del cauce. Estas características, ya están consideradas de manera implícita dentro del término de  $C_p$ .

Enfocándonos en el método indirecto, el coeficiente de escurrimiento anual ( $C_e$ ), es la relación entre el volumen de escurrimiento anual ( $V_e$ ), con el volumen de precipitación ( $V_p$ ) correspondiente (Ecuación 9). No obstante, los valores de  $C_p$  y  $C_e$  son incógnitas que en consecuencia hace que el cálculo sea ilimitado, por lo que se debe emplear otra manera de cálculo para determinar dicho coeficiente.





$$C_e = \frac{V_e}{V_p} = \frac{C_p}{P \cdot A_c} \quad (9)$$

Si bien, en la NOM-011-CONAGU-2015 contempla otro procedimiento, en la cual se aplica en función de la precipitación anual y al grado de permeabilidad del suelo de una cuenca, siendo este último sujeto a las condiciones del tipo y uso de suelo. Las fórmulas para calcular el valor de  $C_e$ , se muestran en las Ecuaciones 10 y 11.

$$C_e = K \frac{P - 250}{2000} \quad (10)$$

$$C_e = K \frac{P - 250}{2000} + \frac{K - 0.15}{1.5} \quad (11)$$

El valor de  $P$ , se determina a partir de información pluviométrica con un período mínimo de 20 años cuyo análisis de los registros debe ser determinado a partir de estaciones climatológicas dentro de la cuenca y cercanas a su parteaguas mediante el método de polígonos de Thiessen o isoyetas.

El parámetro de la variable  $K$  representa el factor de permeabilidad que depende el tipo y uso de suelo, sólo se puede emplear una de las dos fórmulas anteriores dado que está sujeta a una condición: si el valor de  $K \leq 0.15$ , se emplea la Ecuación 10; en el caso contrario, es decir  $K > 0.15$ , se opta por la Ecuación 11. El valor de  $K$  varía en torno a las características del suelo en tres categorías (Cuadro 3) cuyas magnitudes varían de acuerdo con el uso de suelo predominante (Cuadro 4).

**Cuadro 3. Categorías del tipo de suelo de acuerdo con sus características edáficas.**

Categoría	Características del suelo
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos; terrenos sin problemas de drenaje
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los suelos A; terrenos migajosos.
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable; terrenos arcillosos.

Fuente: DOF, 2015





**Cuadro 4. Valores del parámetro K, según el tipo de vegetación y uso de suelo**

Uso de suelo	Categoría		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.30
Cultivos en general	0.24	0.27	0.30
Pastizal cubierto más del 75%	0.14	0.20	0.28
Pastizal cubierto del 50 al 75%	0.20	0.24	0.30
Pastizal cubierto menos del 50%	0.24	0.28	0.30
Bosque cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Pastizal cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Pastizal cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Bosque cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.30
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.30	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.30

Fuente: DOF, 2015

De manera general, en el caso de que en la cuenca de análisis coexistan diferentes valores  $x$  (ya sea, la precipitación o los valores de  $K$ ). Se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en áreas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas, es decir:

$$\bar{x}_p = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (12)$$

**Volumen anual de extracción de agua superficial ( $U_c$ ):** esta variable corresponde los volúmenes anuales asignados y concesionados por la CONAGUA a través de títulos inscritos en el REPDA de acuerdo con el tipo de uso otorgado, así como los volúmenes reservados o declarados bajo reglamentación, teniendo así la siguiente ecuación:

$$U_c = U_{ca} + U_{cb} + U_{cc} \quad (13)$$

Donde:

$U_c$  Volumen anual de extracción de agua superficial (Mm<sup>3</sup>)

$U_{ca}$  Volumen anual de extracción de agua superficial mediante títulos inscritos en el REPDA (Mm<sup>3</sup>)





$U_{cb}$  Volumen anual de extracción de agua superficial de títulos en proceso de inscripción en el REPDA ( $Mm^3$ )

$U_{cc}$  Volumen anual superficial correspondiente a reservas, caudal ecológico y zonas reglamentadas ( $Mm^3$ )

**Volumen anual de retornos ( $R_e$ ):** Se determina mediante aforos realizados en las salidas de los volúmenes sobrantes de extracción anual ( $U_{ca}$  y  $U_{cb}$ ) antes de su reincorporación a los escurrimientos originales hacia aguas abajo. Sin embargo, no se cuenta con suficientes registros de aforo, con lo cual se debe optar por otro método.

Aunado con lo anterior, la NOM-011-CONGUA-2015 pone a consideración los márgenes porcentuales de retorno, a partir del volumen anual de extracción en función con el tipo de uso consuntivo declarado en el título de concesión registrado en el REPDA, dichos usos se presentan en el Cuadro 5.

**Cuadro 5. Porcentajes de retorno con relación al rango de diferentes usos**

Uso consuntivo	Rango porcentual	Retorno
Agrícola	10-30	20
Público-urbano	70-80	75
Industrial	50-60	55
Doméstico	70-80	75
Pecuario	10-30	15
Acuacultura	95-100	100
Generación de energía eléctrica	95-100	100

Fuente: DOF, 2015

**Volumen anual de importaciones ( $I_m$ ) y de exportaciones ( $E_x$ ):** estas variables se determinan sumando los volúmenes de agua superficial que se reciben en forma de importaciones y/o se transfieren a modo de exportaciones a la cuenca hidrológica en estudio, provenientes otra u otras cuencas hidrológicas o bien, provenientes de acuíferos. Incluso, cuando la misma cuenca se encuentra dividido por demarcaciones de orden político-administrativa, tratándose así de una cuenca transfronteriza.





**Volumen medio anual de variación del almacenamiento en embalses ( $A_v$ ) y de evaporación en embalses ( $E_v$ ):** la primera variable se determina mediante la diferencia del volumen final menos el volumen inicial de un embalse natural (lagunas) o artificiales (presas). La segunda, se obtiene a partir de la lámina de evaporación de la superficie libre de agua expuesta del embalse.

#### 4.5 Reportes de disponibilidad de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta

A partir del año 2006, SEMARNAT ha publicado en el DOF diversos decretos, estudios y actualizaciones en torno a la condición y estimación de la disponibilidad para las dos principales redes hídricas superficiales de la RH-30 (Ríos Grijalva-Usumacinta y Candelaria). En el Cuadro 6 se muestran de manera cronológica dichas publicaciones.

**Cuadro 6. Publicaciones del DOF sobre disponibilidad superficial de la RH-30**

Publicación	Fecha	Descripción
Estudio de disponibilidad (Río Candelaria)	19/01/2006	Expone la denominación, ubicación y disponibilidad hídrica superficial en las 2 cuencas.
Estudio de disponibilidad (Grijalva-Usumacinta)	22/06/2007	Muestra los resultados de disp. hídrica superficial en las 81 cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta
Estudio técnico (Río Grijalva)	29/04//2010	Se da a conocer los resultados del estudio técnico de aguas nacionales en 53 cuencas del Río Grijalva
Actualización de disp. hidr. (Río Candelaria)	17/06/2010	Se actualizan por vez primera la disponibilidad superficial en las 2 cuencas del Río Candelaria
Actualización de disp. hidr. (Grijalva-Usumacinta)	30/04/2013	Primera vez se actualizan la disponibilidad superficial en las 81 cuencas de los ríos Grijalva-Usumacinta
Actualización de disp. hidr. nacional (731 cuencas)	08/03/2016	Desglosa la disponibilidad media anual superficial de las 731 cuencas del país en 37 regiones hidrológicas
Actualización de disp. hidr. nacional (757 cuencas)	07/07/2016	Se reemplaza la publicación anterior, incluyendo 26 nuevas cuencas que no estaban identificadas.
Estudio de disponibilidad (Grijalva-Usumacinta)	10-04-2018	Es el segundo estudio técnico de aguas superficiales para las 53 cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta
Zonas de reservas superficiales	06-06-2018	Se establecen zonas de reserva y los caudales ecológicos en las 81 cuencas de la RH-30
Actualización de disp. hidr. nacional (757 cuencas)	21-09-2020	Es la segunda (y la más reciente) actualización de disponibilidad realizado a nivel país.







Otra fuente de información son los registros anuales que recopila el SINA, donde se pueden consultar no solamente los volúmenes de disponibilidad hídrica, sino también el volumen de escurrimientos naturales y de extracción superficial.

A partir de esta fuente antes mencionada y de las especificaciones del Cuadro 6, se puede hacer una recopilación a partir de la información volumétrica de todas las variables que intervienen en el cálculo la disponibilidad hídrica (Ecuaciones 1 y 2), distinguiendo históricamente cinco reportes de disponibilidad hídrica superficial de la RH-30:

- a) **Primer reporte (2007):** Reúne los primeros estudios de disponibilidad de la RH-30 realizados de manera separada en los ríos Candelaria (2 cuencas) y Grijalva-Usumacinta (81 cuencas) publicados en los años 2006 y 2007 respectivamente, basándose en las especificaciones de la NOM-011-CONAGUA-2000.
- b) **Segundo reporte (2010):** Para este reporte, los resultados del estudio del Río Grijalva son los mismos con los valores del estudio realizado en el año 2007. Se incluye dentro del segundo reporte la actualización de los volúmenes de las dos cuencas del Río Candelaria,
- c) **Tercer reporte (2013):** Comprenden los valores en la totalidad de cuencas que conforman la RH-30 de la actualización realizada a nivel nacional. Se adicionan los valores de la última actualización de disponibilidad en las cuencas del Río Candelaria.
- d) **Cuarto reporte (2016):** Se consideran los valores de las 83 cuencas que integran la RH-30; a partir de esta versión, las actualizaciones se realizan en todas las 37





Regiones Hidrológicas en función con la nueva delimitación de cuencas y a las especificaciones de la NOM-011-CONAGUA-2015.

- e) **Quinto reporte (2020):** De este reporte, se desprenden los registros volumétricos actualizados de la RH-30 en la que se incluyen por primera vez los volúmenes de reserva ( $U_{cc}$ ). Es el estudio más reciente consultado y la cual, se hizo la comparación con los resultados obtenidos en esta investigación.

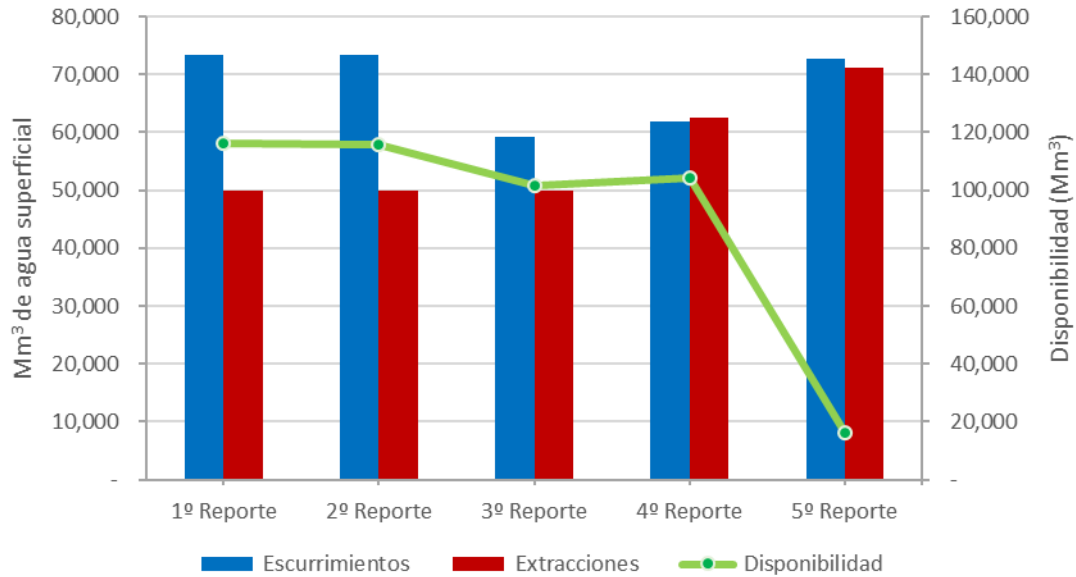
Con base a lo mencionado anteriormente, en el Cuadro 7, se detallan la suma de los volúmenes de escurrimientos naturales, extracciones y de disponibilidad media anual tanto de la RH-30 como su subdivisión entre los ríos Candelaria, Grijalva y Usumacinta:

**Cuadro 7. Volúmenes de escurrimiento, extracción y disponibilidad por reporte**

Zona de influencia	1° Reporte (2007)	2° Reporte (2010)	3° Reporte (2013)	4° Reporte (2016)	5° Reporte (2020)
<i>Volumen medio anual de escurrimientos naturales (Mm<sup>3</sup>)</i>					
Río Candelaria	1,749.83	1,600.05	1,600.05	1,611.45	1,680.81
Río Grijalva	44,501.07	44,501.07	32,972.07	32,992.42	43,900.47
Río Usumacinta	27,214.69	27,214.69	24,725.32	27,277.20	27,212.35
Ríos Grijalva-Usumacinta	71,715.76	71,715.76	57,697.39	60,269.62	71,112.82
Total (RH-30)	73,465.59	73,315.81	59,297.44	61,881.07	72,793.63
<i>Volumen anual de extracción de agua superficial (Mm<sup>3</sup>)</i>					
Río Candelaria	7.62	10.05	10.05	25.60	213.12
Río Grijalva	49,750.81	49,750.81	49,749.84	62,224.73	70,444.96
Río Usumacinta	204.97	204.97	204.96	198.97	466.88
Ríos Grijalva-Usumacinta	49,955.78	49,955.78	49,954.80	62,423.69	70,911.84
Total (RH-30)	49,963.40	49,965.83	49,964.85	62,449.29	71,124.95
<i>Disponibilidad media anual (Mm<sup>3</sup>)</i>					
Río Candelaria	2,002.80	1,850.59	1,850.59	1,846.44	1,685.64
Río Grijalva	68,168.12	68,168.12	53,742.68	54,514.74	13,966.62
Río Usumacinta	45,920.63	45,920.63	45,899.97	48,035.57	688.87
Ríos Grijalva-Usumacinta	114,088.75	114,088.75	99,642.66	102,550.31	14,655.48
Total (RH-30)	116,091.55	115,939.34	101,493.25	104,396.75	16,341.12

Fuente: SINA, 2021





**Figura 4. Evolución del escurrimiento, extracción y disponibilidad de la RH-30**

En la Figura 4 se muestra una tendencia decreciente para el volumen medio anual de escurrimientos naturales, caso contrario sucede respecto con el volumen anual de extracciones en la que tiende un avance progresivo año con año. Esto refleja el constante aumento de la demanda y las limitaciones de la oferta, repercutiendo con la disminución de la disponibilidad hídrica para la RH-30, agudizando su situación para los siguientes años.

Cabe mencionar que, las técnicas y metodologías empleadas en la elaboración de estudios y actualizaciones de disponibilidad superficial han ido cambiando y mejorando con el paso del tiempo. Como es el caso del quinto reporte de disponibilidad en la que se consideran los volúmenes de reserva, haciendo que la disponibilidad disminuya alrededor del 85% del volumen total a comparación con el promedio los cuatro reportes anteriores.





#### **4.6 Escenarios de cambio climático**

Salinas-Prieto y colaboradores (2015) mencionan que, el estudio de la variabilidad del cambio climático requiere de información necesaria para identificar, diseñar y llevar a cabo acciones de mitigación y adaptación ante los posibles impactos de fenómenos meteorológicos extremos. Una de las herramientas elementales para tal fin son los escenarios de cambio climático (ECC).

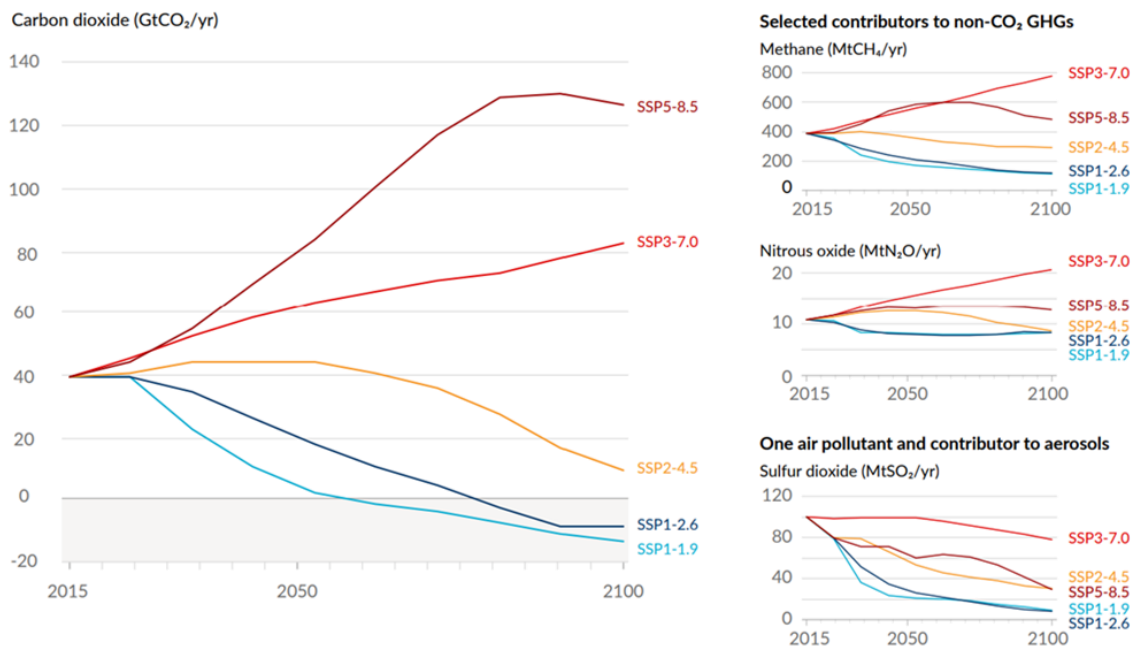
Por su parte, la Sexta Comunicación Nacional (2018), define al ECC como la diferencia existente entre el clima actual y de una posible representación simplificada del futuro clima, basada en un conjunto de relaciones y factores internamente coherentes y definidas explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático.

Para proyectar el comportamiento del clima para un ECC, se toma como base el clima actual y modificando algunas variables que lo intervienen. Son situaciones posibles que se pueden presentar en un futuro, existiendo una incertidumbre con relación a futuras emisiones de gases de efecto invernadero, la sensibilidad y los cambios climáticos tanto regionales como globales (Suárez-Medina et al., 2016).

Una mención muy importante que hacen Fernández y colaboradores (2015), es que los ECC no son pronósticos climáticos, ya que cada escenario es una alternativa de cómo se puede comportar el clima a futuro. Además, una proyección puede servir como material fuente para un escenario; sin embargo, requieren de información y parámetros adicionales.



En el Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2021), el grado de impacto del cambio climático para el futuro se puede interpretar a través de Trayectorias Representativas de Concentración (RCP, por sus siglas en inglés); que describen la evolución de las concentraciones de gases de efecto invernadero y de otros contaminantes atmosféricos emitidos durante este siglo (Figura 5).



Fuente: IPCC, 2021

**Figura 5. RCP de los principales contaminantes atmosféricos hasta el año 2100**

Siguiendo con el informe, los RCP han sido desarrollados mediante simulaciones de modelos climáticos, ajustándose a los diversos escenarios de mitigación evaluados, proyectando sus consecuencias para el sistema climático en cinco diferentes tendencias (1.2, 2.6, 4.5, 7.0 y 8.5), cuyas magnitudes se refieren a los posibles aumentos de desbalance de irradiancia entrante y saliente, expresado en vatios o watts por metro cuadrado ( $W \cdot m^{-2}$ ).





Para facilitar el análisis de estos datos climáticos, se recurre a proyecciones de modelos y escenarios de emisiones debido que no existe un modelo que reproduzca de manera confiable la climatología pasada (Montero-Martínez et al., 2013). Si bien, la mayoría de los modelos de circulación general son a nivel global cuyas resoluciones no son compatibles con el tamaño de la zona de estudio y se deban recurrir a modelos regionalizados que son muy limitados.

No obstante, Fernández y colaboradores (2022) elaboraron un repositorio de ECC mensuales sobre precipitación y temperatura para región de México y Centroamérica con base al diagnóstico del Sexto Informe de Evaluación del IPCC con las trayectorias RCP 4.5 y 8.5 proyectados en períodos de 20 años para el horizonte cercano (2021-2040), medio (2041-2060) y lejano (2081-2100).

En cambio, Martínez-Austria y Patiño-Gómez (2012) mencionan que las series históricas de dichos datos considerados estadísticamente representativas del ciclo hidrológico local no serán suficientes para la gestión futura del agua. Por lo que se deben considerar otros factores ambientales como son los procesos de evaporación y el cambio de uso de suelo.





## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Descripción de la zona de estudio

#### 5.1.1 Ubicación geográfica

De acuerdo con el SINA (2022), la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta (RH-30) tiene una extensión de 103,044.08 km<sup>2</sup>, cuya demarcación está situada principalmente entre las entidades de Campeche, Chiapas y Tabasco, así como pequeñas porciones de los estados de Oaxaca y Veracruz.

La RH-30 está delimitada geográficamente entre los paralelos 15°15'32" y 18°38'54" de latitud Norte y, entre los meridianos 90°22'27" y 94°14'04" de longitud Oeste (DOF, 2018a). La integración territorial de la zona de estudio está compuesta de 83 cuencas hidrográficas, el desglose de las claves nominales y nombres de las cuencas se enlistan en el Cuadro 8.

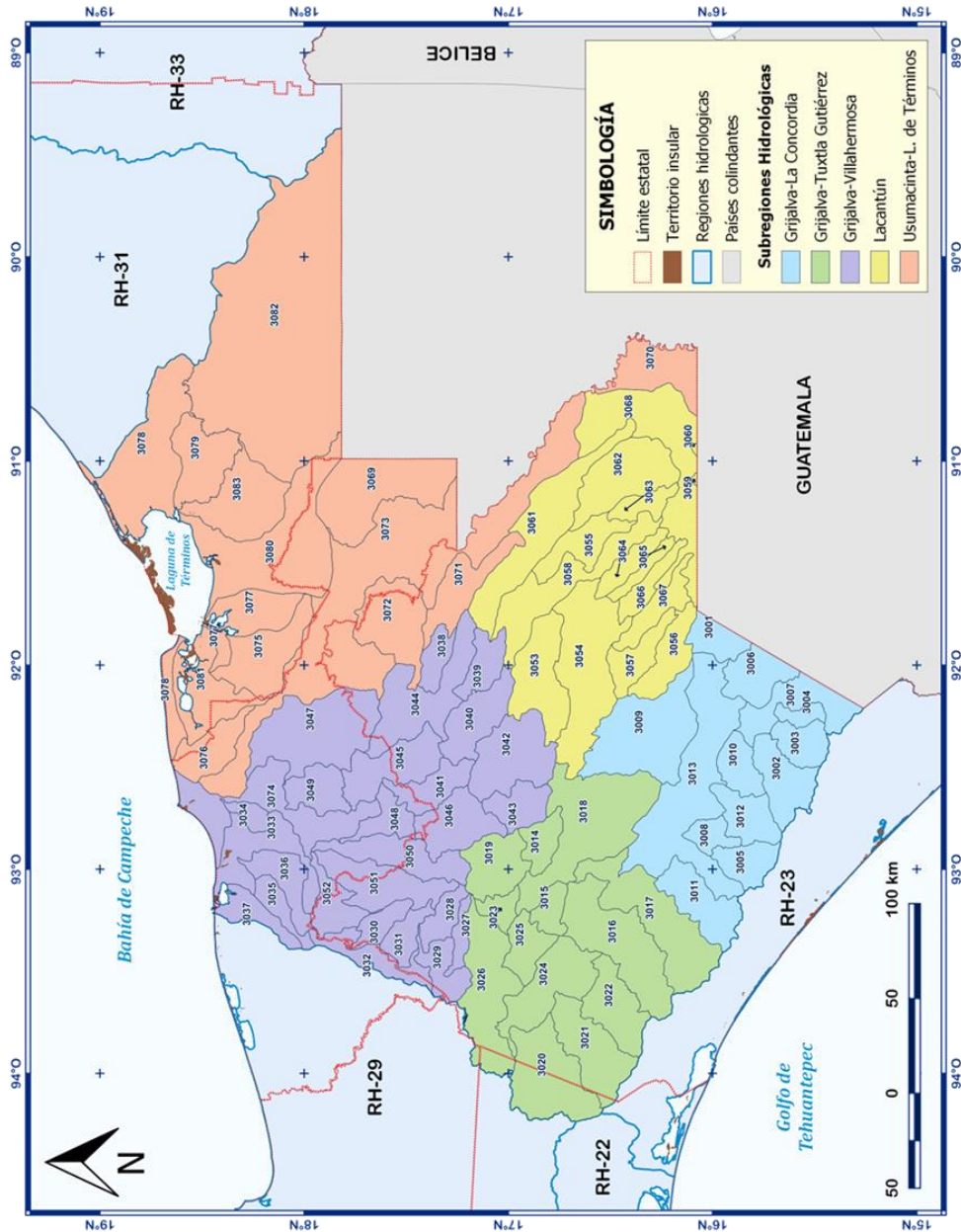
Dado por el importante número de cuencas que lo conforma, para fines prácticos la RH-30 se dividió en cinco Subregiones Hidrológicas (Figura 6): Grijalva-La Concordia, Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, Grijalva-Villahermosa, Lacantún y Usumacinta-Laguna de Términos. Las tres primeras pertenecen a la vertiente del Río Grijalva, mientras que el resto corresponden al Río Usumacinta.

Las colindancias que tiene la RH-30 son: hacia al norte con el Golfo de México y la Región Hidrológica número 31 (Yucatán Oeste), al este por la Región Hidrológica número 33 (Yucatán Este) y con la República de Guatemala, hacia el sur con la Región Hidrológica número 23 (Costa de Chiapas), y al oeste con las Regiones Hidrológicas número 22 (Tehuantepec) y número 29 (Coatzacoalcos).





<b>PLANO No. 1</b>
Ubicación geográfica y subdivisión de la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta
<b>MACROLOCALIZACIÓN</b>
<b>INFORMACIÓN TÉCNICA</b>
Datum: Internacional Terrestrial Reference Frame 1992 (ITRF92) México
Elipsoide: Geodetic Reference System 1980 (GRS80)
Proyección: Lambert Conformal Conical (LCC)
Escala absoluta: 1:2 000 000
<b>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</b> Maestría en Ingeniería en Sistemas Hidráulicos
Proyecto: Análisis de disponibilidad hídrica en la Región Hidrológica Grijalva- Usumacinta y su prospectiva al 2034
Elaboró: Elmer Natanuel Sánchez Cortés
Fecha: Septiembre del 2022



**Figura 6. Subdivisión de la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta**

Elaboración propia



**Cuadro 8. Cuencas hidrográficas que integran la RH-30**

Clave Nombre	Clave Nombre	Clave Nombre	Clave Nombre
<i>Grijalva-La Concordia</i>	3021 Cintalapa	3042 Chacté	3062 San Pedro
3001 Lagartero	3022 Soyatenco	3043 De los plátanos	3063 Laguna Miramar
3002 Yayahuíta	3023 Alto Grijalva	3044 Tulijá	3064 Euseba
3003 Zacualpa	3024 De La Venta	3045 Macuxpana	3065 Caliente
3004 Papizaca	3025 Chapopote	3046 Almendro	3066 Seco
3005 Presa La Concordia	3026 Presa Nezahualcóyotl	3047 Chilapa	3067 Santo Domingo
3006 Selegua	<i>Grijalva-Villahermosa</i>	3048 Tacotalpa	3068 Lacantún
3007 San Miguel	3027 Tzimbac	3049 Chilapila	<i>Usumacinta-Laguna de Términos</i>
3008 La Concordia	3028 Zayula	3050 De la Sierra	3069 San Pedro
3009 Aguacatenco	3029 Presa Peñitas	3051 Pichucalco	3070 Chixoy
3010 Aguzarca	3030 Paredón	3052 Viejo Mezcaltapa	3071 Chocaljah
3011 San Pedro	3031 Platanar	3074 Grijalva	3072 Chacamax
3012 Grande o Salinas	3032 Mezcaltapa	<i>Lacantún</i>	3073 Usumacinta
3013 Presa La Angostura	3033 El Carrizal	3053 Azul	3075 Palizada
<i>Grijalva-Tuxtla Gutiérrez</i>	3034 Tabasquillo	3054 Tzanconaja	3076 San Pedro y San Pablo
3014 Hondo	3035 Cunduacán	3055 Perlas	3077 Laguna del Este
3015 Tuxtla Gutiérrez	3036 Samaría	3056 Comitán	3078 Laguna de Términos
3016 Suchiapa	3037 Caxcuchapa	3057 Margaritas	3079 Mamantel
3017 Santo Domingo	3038 Basca	3058 Jatate	3080 Chumpán
3018 Presa Chicoasén	3039 Yashijá	3059 Ixcán	3081 Laguna del Pom y Atasta
3019 Chicoasén	3040 Shumulá	3060 Chajul	3082 Alto Candelaria
3020 Encajonado	3041 Puxcatán	3061 Lacanjá	3083 Bajo Candelaria

Fuente: DOF (2016)



### 5.1.2 Sistema hidrológico

De acuerdo con la información más reciente proporcionada por el Sistema de Información del Agua (SINA), en el año 2020 la RH-30 tenía un escurrimiento medio anual de 116,874 Mm<sup>3</sup> y una precipitación media normal de 1,770 mm durante el período 1991-2020 (SINA,2021).

El margen de lluvias en la zona de estudio varía desde los 700 mm en la depresión central de Chiapas, hasta los 4,000 mm en las estribaciones de las sierras norte de Chiapas y la zona centro-sur del estado de Tabasco, tratándose esta última magnitud como la región con los registros de precipitación más altos de nuestro país (DOF, 2018a).

Con base con el último estudio técnico de aguas superficiales (DOF, 2018a), los principales ríos de la zona de estudio que dan el nombre de la RH-30, son el río Grijalva, con una longitud aproximada de 700 km y el río Usumacinta, cuya longitud aproximada es de 1,078 km.

Aunado con lo anterior, ambos ríos nacen de las montañas de la República de Guatemala y desembocan en el Golfo de México por una compleja planicie deltaica con zonas de humedales, sistemas lagunares estuarios y corrientes que se bifurcan ambos ríos anteriores, como son los ríos Samaría, San Pedro y San Pablo, Palizada, entre otras.

Otra corriente superficial dentro de la RH-30 es el río Candelaria, con una longitud de 150 km tiene su origen en la zona del Petén, Guatemala, atravesando la región sur de Campeche, teniendo su desembocadura en la Laguna de Términos.

Dentro de la RH-30 se encuentran seis presas, cuatro de ellas son destinadas para la generación de energía eléctrica: La Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas





(DOF,2018). En el Cuadro 9 se muestran algunas especificaciones generales de las presas hidroeléctricas; además, se incluyen otros embalses naturales, tales como lagos y lagunas. Además, en la Figura 7 se muestra la principal red hídrica superficial de la RH-30, así como la distribución de los principales cuerpos de agua.

**Cuadro 9. Principales cuerpos de agua dentro de la RH-30**

Nombre oficial	Estado	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Capacidad (Mm <sup>3</sup> )
Presa Belisario Domínguez (La Angostura)	Chiapas	472.93	12,762
Presa Nezahualcóyotl (Malpaso)	Chiapas	263.60	10,596
Laguna de Catazajá	Chiapas	42.50	-
Laguna Ismate-Chilapilla	Tabasco	38.91	-
Presa Ángel Albino Corzo (Peñitas)	Chiapas	37.66	1,091
Laguna Miramar	Chiapas	22.45	-
Laguna Maluco	Tabasco	17.68	-
Laguna el Viento	Tabasco	17.03	-
Presa Manuel Moreno Torres (Chicoasén)	Chiapas	16.03	1,632
Presa Jaime Sabines (Portillo)	Chiapas	5.24	100
Presa Rosendo Salazar (Tolán)	Chiapas	1.01	13

Fuente: INEGI, 2021





<b>PLANO No. 2</b>	<b>Red hídrica y cuerpos de agua dentro de la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta</b>
<b>MACROLOCALIZACIÓN</b>	
<b>INFORMACIÓN TÉCNICA</b>	<p><b>Datum:</b> Internacional Terrestrial Reference Frame 1992 (ITRF92) México</p> <p><b>Elipsoide:</b> Geodetic Reference System 1980 (GRS80)</p> <p><b>Proyección:</b> Lambert Conformal Conical (LCC)</p> <p><b>Escala absoluta:</b> 1:2 000 000</p>
	<p><b>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</b> Maestría en Ingeniería en Sistemas Hidráulicos</p> <p><b>Proyecto:</b> Análisis de disponibilidad hídrica en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta y su prospectiva al 2034</p> <p><b>Elaboró:</b> Elmer Natanuel Sánchez Cortés</p> <p><b>Fecha:</b> Septiembre del 2022</p>

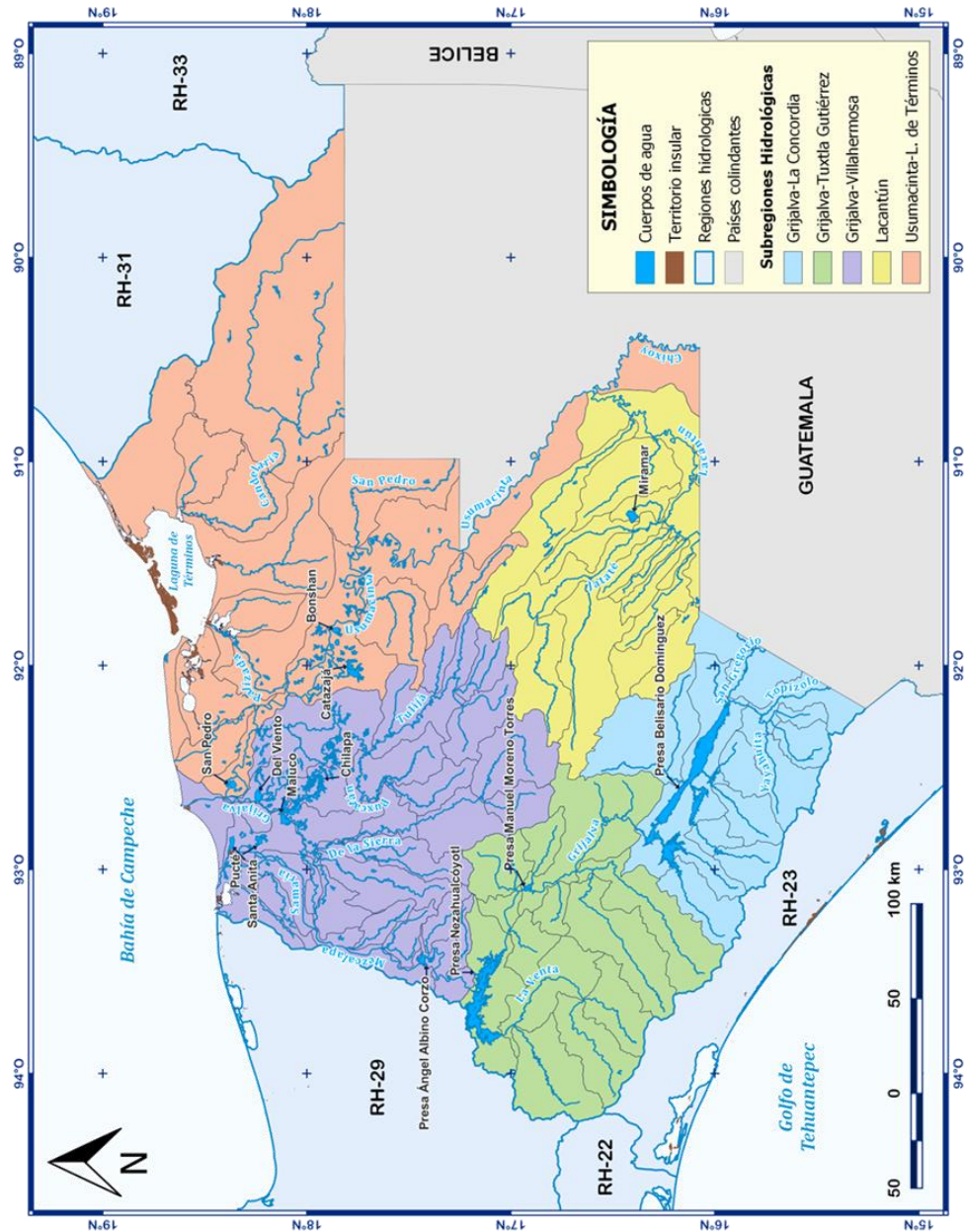


Figura 7. Red Hídrica superficial y cuerpos de agua en la RH-30

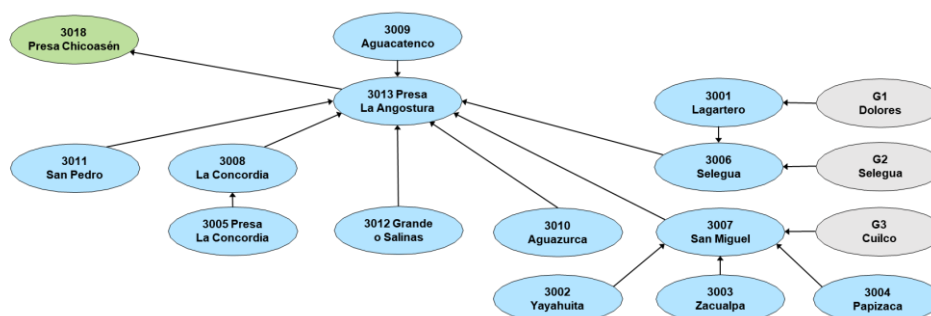
Elaboración propia

### 5.1.3 Interconexión hidrológica

La RH-30 se destaca como una de las Regiones Hidrológicas más grandes de México en cuestión superficial, además de contar con una compleja red hídrica transnacional y de un amplio número de cuencas que la integran, representando en conjunto alrededor del 11% de todas las cuencas que delimitan el territorio nacional.

Para tener una mejor apreciación en cuanto a la configuración de la dinámica fluvial de las 83 cuencas de la RH-30, se elaboró una esquematización de su interconexión de cada Subregión Hidrológica (SRH), en el sentido de dirección de aguas arriba hacia aguas abajo. En los siguientes párrafos se hace una descripción de cada SRH, acompañado del esquema de interconexión correspondiente.

**I Grijalva-La Concordia:** esta denominación se hace en referencia a la primera presa que se construyó en esa zona (presa Jaime Sabinés), en esta zona se reciben los nacimientos que conforman el Alto Grijalva. Está conformada por 13 cuencas, tres de ellas (Lagartero, Selegua y San Miguel) reciben importaciones desde Guatemala de los ríos Dolores, Selegua y Cuilco. El punto de confluencia en común es en el vaso de almacenamiento de la presa La Angostura (Figura 8).

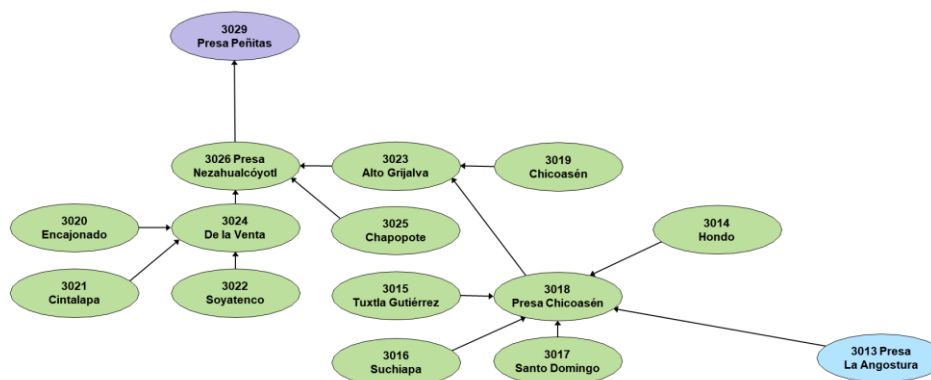


Elaboración propia

**Figura 8. Interconexión de la SRH Grijalva-La Concordia**



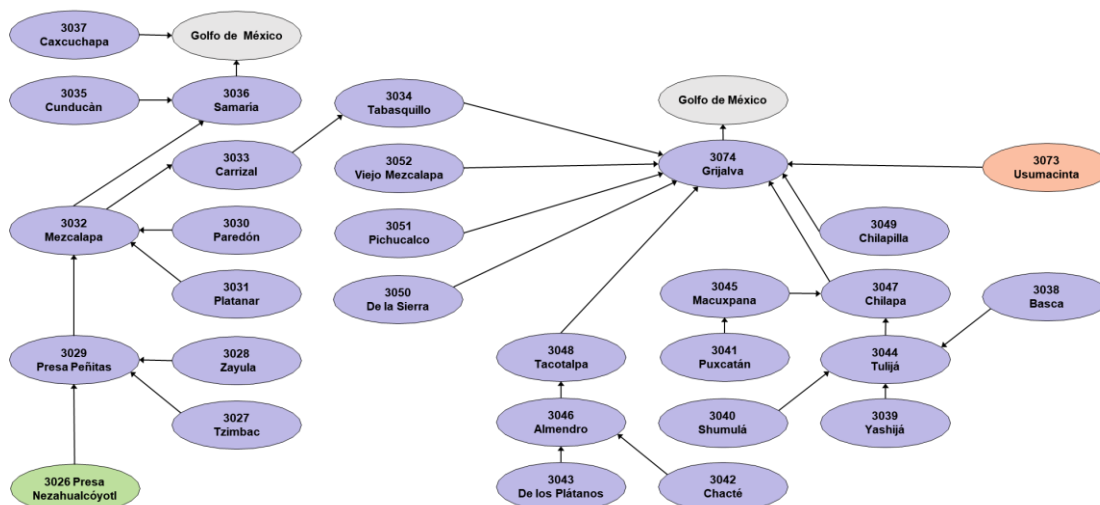
**II Grijalva-Tuxtla Gutiérrez:** la presencia de la capital chiapaneca dentro de la SRH es como se denomina de esta manera. También conocido como Medio Grijalva, está integrada por 12 cuencas entre las cuales, se destacan las presas de Chicoasén y Nezhualcóyotl (Malpaso), siendo ésta el punto de confluencia en común (Figura 9).



Elaboración propia

**Figura 9. Interconexión de la SRH Grijalva-Tuxtla Gutiérrez**

**III Grijalva-Villahermosa:** con un conjunto de 26 cuencas, esta SRH representa la zona baja del Río Grijalva, caracterizado por las interconexiones entre los afluentes de los ríos Samaría, Carrizal, Tabasquillo y Grijalva (Figura 10).

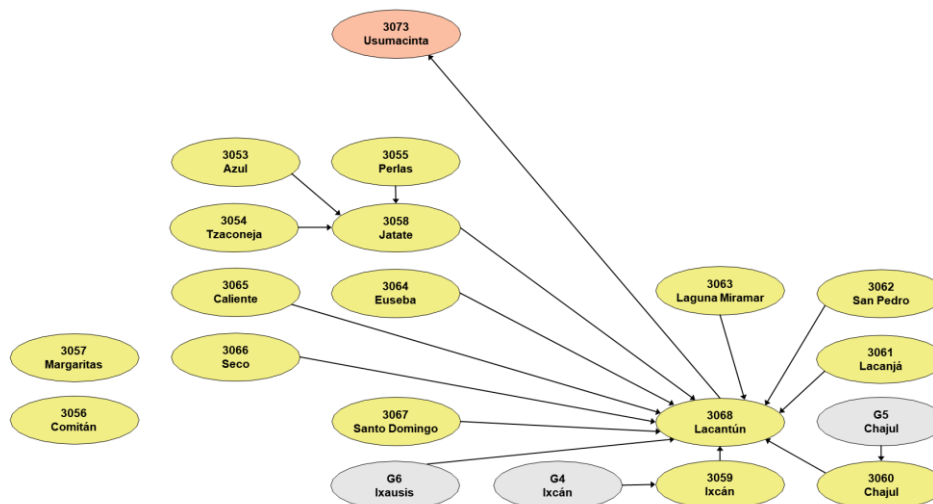


Elaboración propia

**Figura 10. Interconexión de la SRH Grijalva-Villaermosa**



**IV Lacantún:** Esta región está constituida por las vertientes del Río Lacantún que es uno de los ríos vertientes que conforman la red hídrica del Río Usumacinta, así como de las aportaciones de ríos Ixcán y Chajul provenientes de Guatemala (Figura 11).



Elaboración propia

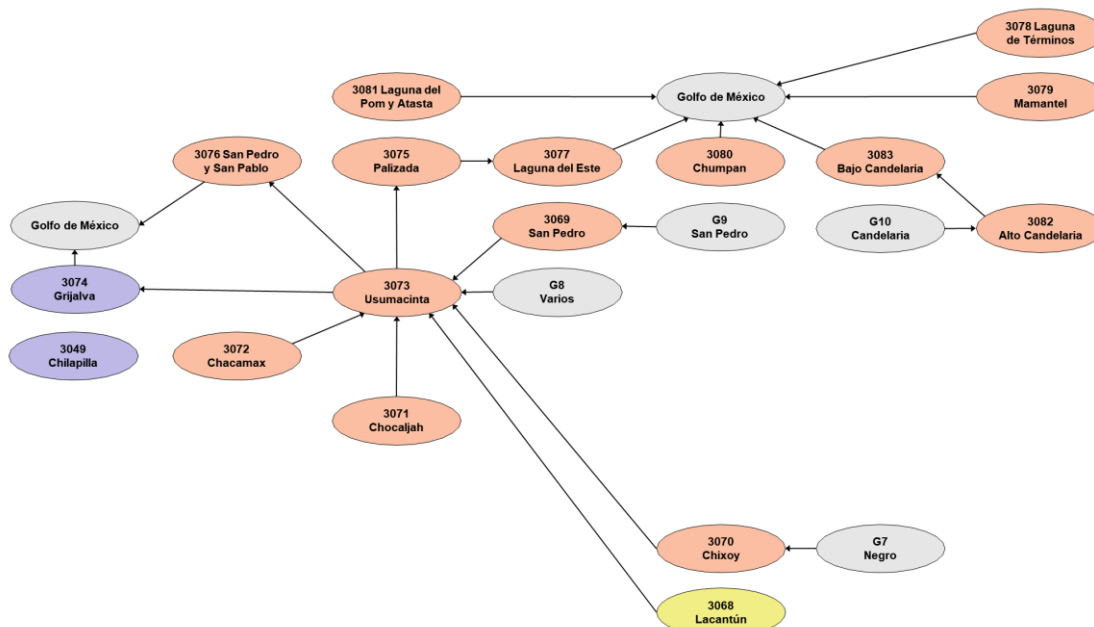
**Figura 11. Interconexión de la SRH Lacantún**

Cabe mencionar que, de la figura anterior, las cuencas de Margaritas y Comitán carecen de conexión, esto se debe a que sus corrientes superficiales no desembocan a otras cuencas y su flujo de agua es hacia su interior (cuenca endorreica).

**V Usumacinta-Laguna de Términos:** Esta porción reúne los escurrimientos del Río Chixoy, así como las interconexiones entre los ríos San Pedro y San Pablo, Palizada y Usumacinta, al igual que el río Candelaria y otras corrientes que desembocan en la Laguna de Términos.

Dentro del sistema fluvial, se incorporan los ríos Negro, San Pedro, Candelaria que son provenientes de Guatemala, así como de otros arroyos que se incorporan a lo largo del tramo del Río Usumacinta que funge como frontera entre dicho país y México (Figura 12).





Elaboración propia

**Figura 12. Interconexión de la SRH Usumacinta-Laguna de Términos**

#### 5.1.4 Caracterización social

Datos consultados por el Sistema de Consulta de Integración Territorial, Entorno Urbano y Localidad (SCITEL) en el marco del Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el año 2020 la población total es de 6.87 millones de habitantes, distribuidas de forma total o parcial en 135 municipios de cinco estados (Cuadro 10).

**Cuadro 10. Distribución de la población y superficie de la RH-30 por estado**

Entidad	Número de municipios	Población (2020)	Porcentaje poblacional	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Densidad (Hab/Km <sup>2</sup> )
Campeche	6	355,779	5.178	20,560.09	17.30
Chiapas	108	4,496,732	65.444	61,989.71	72.54
Oaxaca	3	4,066	0.059	1,206.61	3.37
Tabasco	17	2,010,017	29.253	18,657.39	107.73
Veracruz	1	248	0.004	51.20	4.84
Total (RH-30)	135*	6,871,156	100.00	102,465	67.06

Fuente: INEGI, 2021

\*El listado completo de los 135 municipios se puede consultar en el Cuadro 12







Existen dentro de la zona de estudio 31 centros poblacionales que albergan a más de los 20 mil habitantes, en conjunto concentran el 33.43% de toda la población total. De este conjunto, dos de estas urbes se localizan en el estado de Campeche, 15 más en el estado de Chiapas, mientras que las 14 ciudades restantes se sitúan en Tabasco (Figura 13). En el Cuadro 11 se enlistan las diez primeras ciudades dentro de la RH-30 que albergan la mayor cantidad de habitantes.

**Cuadro 11. Principales centros poblacionales de la RH-30**

Localidad	Municipio	Entidad	Población total (2020)
Tuxtla Gutiérrez	Tuxtla Gutiérrez	Chiapas	578 830
Villahermosa	Centro	Tabasco	340 060
Ciudad del Carmen	Carmen	Campeche	191 238
San Cristóbal de las Casas	San Cristóbal de las Casas	Chiapas	183 509
Comitán de Domínguez	Comitán de Domínguez	Chiapas	113 479
Cárdenas	Cárdenas	Tabasco	80 454
Chiapa de Corzo	Chiapas de Corzo	Chiapas	55 931
Palenque	Palenque	Chiapas	51 797
Cintalapa de Figueroa	Cintalapa	Chiapas	49 201
Ocosingo	Ocosingo	Chiapas	47 688

Fuente: INEGI, 2021

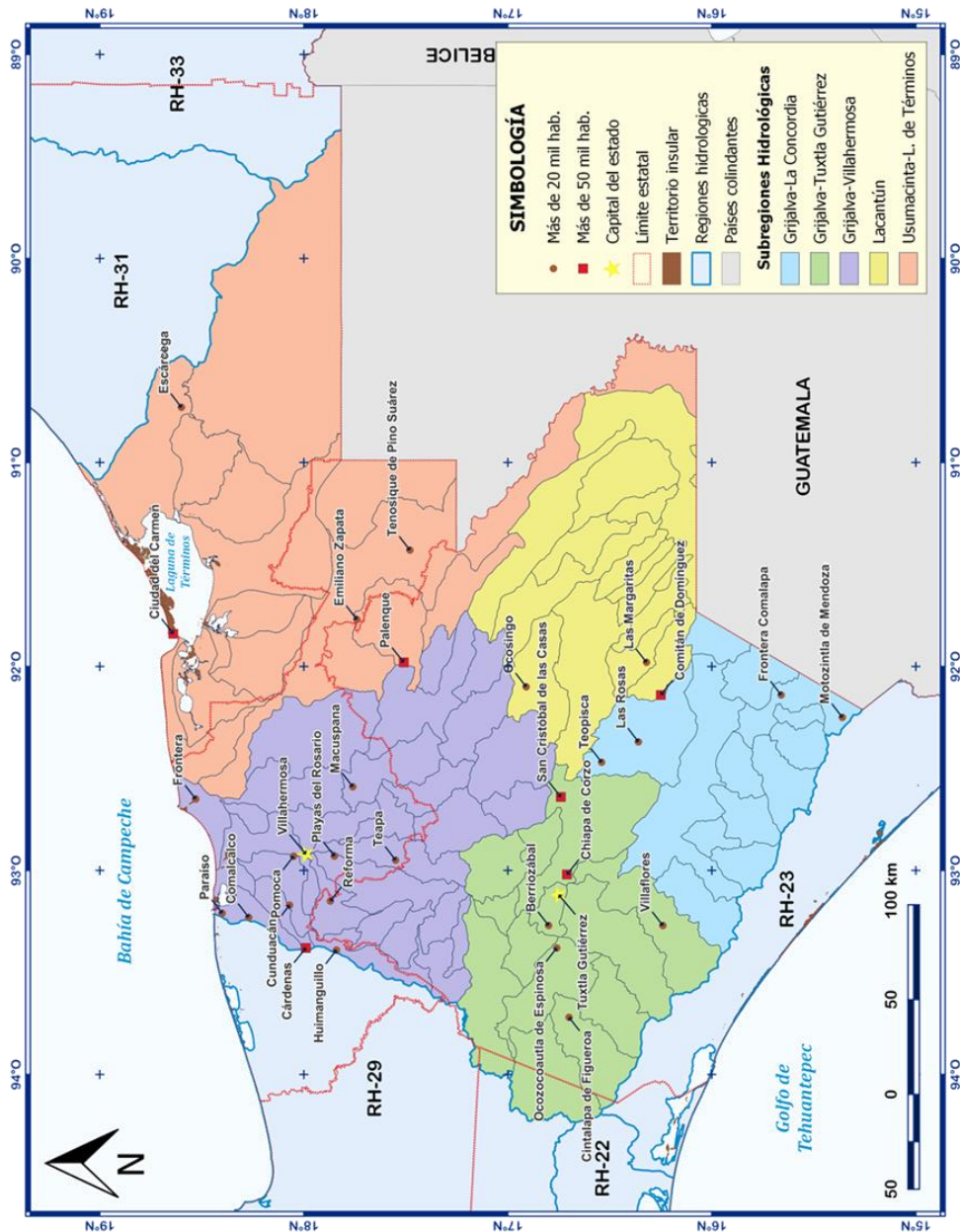
Bunge (2010) comenta que la mayor parte de la población se localiza en lo largo de los ríos Grijalva y Usumacinta, principalmente en las partes altas de ambas cuencas, y distribuidos en más de siete mil localidades. En donde, el 60% de la población se encuentra asentada en localidades de menos de mil habitantes, mayoritariamente de zonas rurales y marginadas, situadas en las zonas altas de la RH-30.

Si consideramos el volumen de disponibilidad hídrica en el 2020 (40,178.5 Mm<sup>3</sup>) y se reparte entre toda la población de la RH-30, se obtiene un volumen medio anual de agua renovable per cápita de 5,847 m<sup>3</sup>, cantidad superior al promedio nacional (3,663 m<sup>3</sup>) que reporta CONAGUA (2022a) en su anuario estadístico del agua más reciente.





<b>PLANO No. 3</b>
Principales centros poblacionales dentro de la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta
<b>MACROLOCALIZACIÓN</b>
<b>INFORMACIÓN TÉCNICA</b>
<b>Datum:</b> Internacional Terrestrial Reference Frame 1992 (ITRF92) México
<b>Elipsoide:</b> Geodetic Reference System 1980 (GRS80)
<b>Proyección:</b> Lambert Conformal Conical (LCC)
<b>Escala absoluta:</b> 1:2 000 000
<b>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</b> Maestría en Ingeniería en Sistemas Hidráulicos
<b>Proyecto:</b> Análisis de disponibilidad hídrica en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta y su prospectiva al 2034
<b>Elaboró:</b> Elmer Natanael Sánchez Cortés
<b>Fecha:</b> Septiembre del 2022



**Figura 13. Principales centros poblacionales dentro de la RH-30**

Elaboración propia



**Cuadro 12. Municipios situados dentro del partearguas de la RH-30**

Clave	Municipio	Clave	Municipio	Clave	Municipio	Clave	Municipio	Clave	Municipio
4003	Carmen	7026	Chenalhó	7059	Ocosingo	7088	Sunuapa	7120	Capitán Luis Ángel Vidal
4004	Champotón	7027	Chiapa de Corzo	7060	Ocoatepec	7090	Tapalapa	7121	Rincón Chamula San
4007	Palizada	7028	Chiapilla	7061	Ocozacoatlán de Espinosa	7091	Tapilula	7122	El Parral
4009	Escárcega	7029	Chicoasén	7062	Ostuacán	7092	Teapatán	7123	Emiliano Zapata
4010	Calakmul	7030	Chicomuselo	7063	Osumacinta	7093	Tenejapa	7124	Mezcalapa
4011	Candelaria	7031	Chilón	7064	Oxchuc	7094	Teopisca	7125	Honduras de la Sierra
7002	Acala	7033	Francisco León	7065	Palenque	7096	Tila	20265	San Miguel Chimalapa
7004	Altamirano	7034	Fraser Comalapa	7066	Pantelhó	7097	Tonalá	20407	Santa María Chimalapa
7005	Amatán	7036	La Grandeza	7067	Pantepec	7098	Totolapa	20525	Santo Domingo Zanatepec
7006	Amatenango de la	7038	Huixtán	7068	Pichucalco	7099	La Trinitaria	27001	Balancán
7007	Amatenango del Valle	7039	Huitiupán	7069	Pijijiapan	7100	Tumbalá	27002	Cárdenas
7008	Ángel Albino Corzo	7041	La Independencia	7070	El Porvenir	7101	Tuxtla Gutiérrez	27003	Centla
7010	Bejucal de Ocampo	7042	Ixhuatán	7072	Pueblo Nuevo	7104	Tzimol	27004	Centro
7011	Bella Vista	7043	Ixtacomitán	7073	Rayón	7106	Venustiano Carranza	27005	Comalcalco
7012	Berriozábal	7044	Ixtapa	7074	Reforma	7107	Villa Corzo	27006	Cunduacán
7013	Bochil	7045	Ixtapangajoyá	7075	Las Rosas	7108	Villaflores	27007	Emiliano Zapata
7014	El Bosque	7046	Jiquipilas	7076	Sabanilla	7109	Yajalón	27008	Huimanguillo
7016	Catazajá	7047	Jitotol	7077	Salto de Agua	7110	San Lucas	27009	Jalapa
7017	Cintalapa	7048	Juárez	7078	San Cristóbal de las Casas	7111	Zinacantán	27010	Jaiba de Méndez
7018	Coapilla	7049	Larráinzar	7079	San Fernando	7112	San Juan Canuc	27011	Jonuta
7019	Comitán de Domínguez	7050	La Libertad	7080	Siltepec	7112	Aldama	27012	Macuspana
7020	La Concordia	7051	Mapastepec	7081	Simojovel	7113	Benemérito de las	27013	Nacajuca
7021	Copainalá	7052	Las Margaritas	7082	Sitalá	7115	Maravilla Tenejapa	27014	Paraiso
7022	Chalchihuitán	7053	Mazapa de Madero	7083	Socoltenango	7116	Marqués de Comillas	27015	Tacotalpa
7023	Chamula	7056	Mitontic	7084	Solosuchiapa	7117	Montecristo de Guerrero	27016	Teapa
7024	Chanal	7057	Motozintla	7085	Soyaló	7118	San Andrés Duraznal	27017	Tenosique
7025	Chapultenango	7058	Nicolás Ruíz	7086	Suchiapa	7119	Santiago el Pinar	30061	Las Choapas

Fuente: INEGI (2021)



## 5.2 Metodología

### 5.2.1 Aspectos y consideraciones generales

La metodología aplicada en este trabajo de investigación se divide en dos etapas de acuerdo con el tipo de análisis que se realizó de la información:

1. **Análisis de las variantes de disponibilidad por cuenca:** en esta etapa, se hace un análisis de las variantes de la Ecuación 2 que se pueden determinar dentro de cada cuenca (a excepción de  $A_r$ ); comprende desde la recopilación de la información de diversas fuentes, hasta los procesos para poder estimar el volumen actual; así como también, de las proyecciones al año 2034 de cada variable en cada cuenca.
2. **Análisis y proyección de la disponibilidad en el sistema de cuencas:** a partir de las variables anteriores y con el apoyo del sistema de interconexión de la RH-30 se efectúa la determinación del volumen de escurrimientos y consecuentemente el volumen comprometido, posteriormente se procede con el cálculo de la disponibilidad a nivel de cuenca, permitiendo hacer un mapeo de la disponibilidad hídrica superficial de la RH-30 bajo diferentes escenarios.

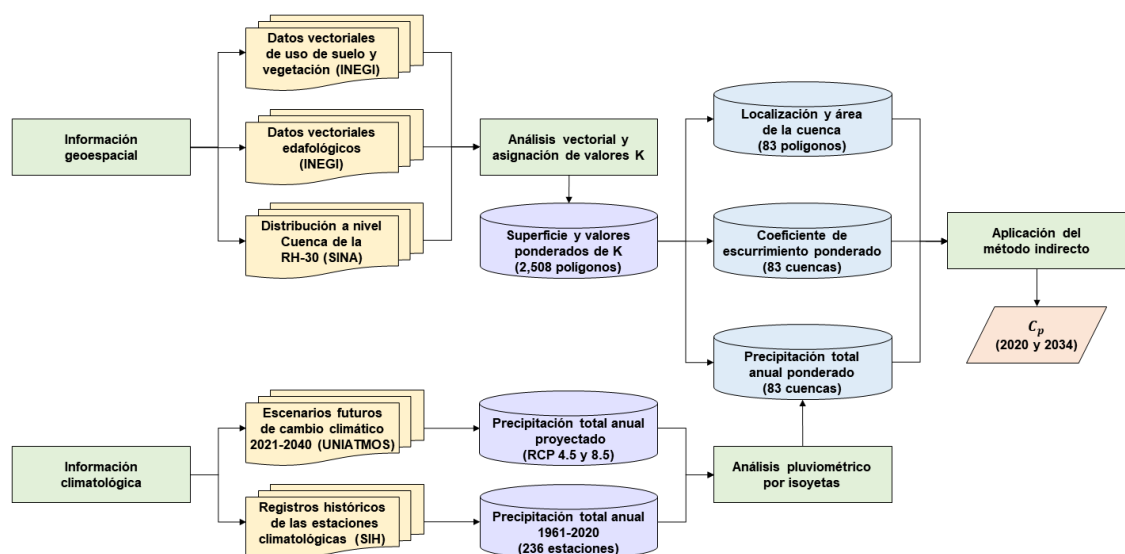
De manera general, los programas computacionales empleados a lo largo de este trabajo fueron: 1) QGIS Desktop (Versión 3.20.2 Odense) en la que se hicieron las proyección y procesos de análisis mediante la información geoespacial, tanto vectorial como ráster y 2) Microsoft Excel 2019 para la construcción de bases de datos e importación de tablas de atributos vectoriales en forma de hojas de cálculo, ya sea en



tablas dinámicas o en archivos delimitados por comas (formato CSV) para su importación en QGIS.

### 5.2.2 Determinación del volumen de escurrimientos naturales

El objetivo de esta primera etapa consiste en determinar el volumen promedio anual de escurrimiento natural ( $C_p$ ) aplicando las especificaciones del método indirecto. Este proceso se realizó a partir de información geoespacial y climatológica cuyo desarrollo esquemático interno se puede ilustrar en la Figura 14.



Elaboración propia

**Figura 14. Proceso para la determinación del volumen de escurrimientos naturales**

Tomando en cuenta a las variables necesarias para emplear el método indirecto (Ecuación 8), en el tipo de la información y en la manera en que se desarrolló este proceso se pueden distinguir dos partes:

**1) Determinación de la precipitación media anual por cuenca:** a partir de la ubicación de las estaciones climatológicas y los registros de precipitación total mensual, se estimó la precipitación media ponderada anual para los períodos 1961-2020, así como





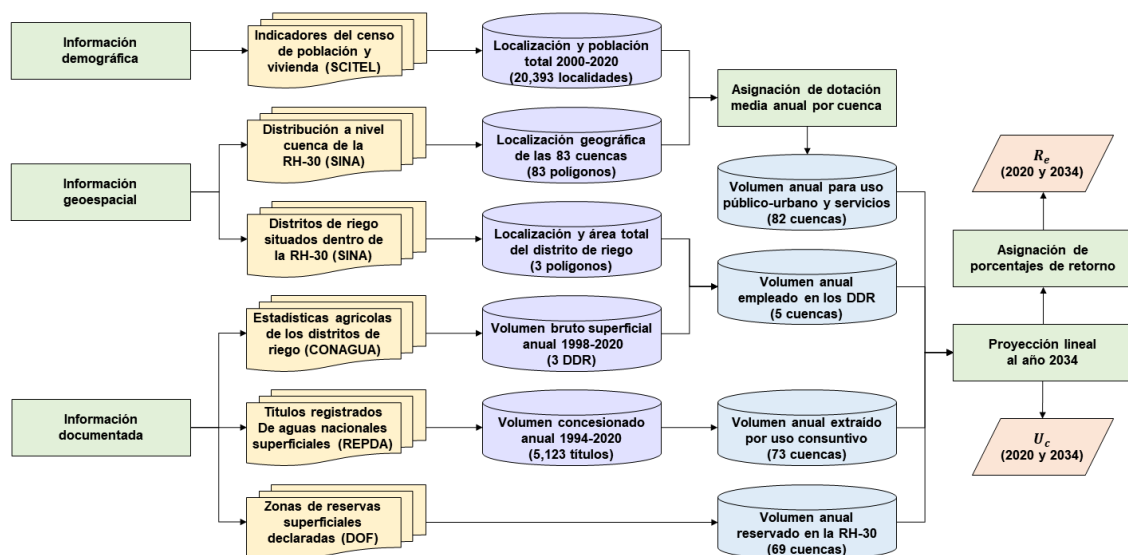
también para el período 2021-2034 que fue generado a partir de escenarios regionalizados de cambio climático. Para ambos aspectos, se calculó la precipitación media ponderada anual a nivel de cuenca ( $P$ ) a través del análisis pluviométrico por isoyetas; derivado de la ponderación, se estimó el área de la cuenca ( $A_c$ ). Los métodos y procesos que se llevaron a cabo se detallan en el Anexo 8.1.

**2) Determinación del coeficiente de escurrimiento:** para esta parte, primero se estimó el valor medio ponderado a nivel de cuenca del parámetro  $K$ , con base en información vectorial del grupo de suelo y al tipo de vegetación y uso de suelo proporcionado por INEGI. Con los valores anteriores de  $A_c$  y  $P$  en sus diversos aspectos, se procede con el cálculo del coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) histórico y de los escenarios futuros RCP 4.5 y RCP 8.5, cuyos resultados proyectados hacia el año 2034 serán denominados como: 2034 RCP 4.5 y 2034 RCP 8.5 respectivamente. En el Anexo 8.2 se puede consultar a más detalle su procedimiento.

### *5.2.3 Determinación del volumen de extracciones y retornos*

En esta segunda etapa, se busca obtener el volumen anual de extracciones superficiales ( $U_c$ ) y de retornos ( $R_e$ ) de sus diversos usos tanto consuntivos como no consuntivos. El desarrollo general para este proceso se muestra en la Figura 15, cuyo proceso se hizo en cinco partes:





Elaboración propia

**Figura 15. Proceso para la determinación del volumen de extracciones y retornos**

**1) Estimación del volumen anual para uso público-urbano y servicios: A**

partir de la distribución poblacional de los últimos tres censos nacionales de población de INEGI a nivel comunidad de cada cuenca, se llevó a cabo la determinación del volumen para el uso público-urbano asignando una dotación en cada SRH; dicho volumen se asignó un porcentaje adicional para el sector de servicios en función al tamaño de cada población. En el Anexo 8.3 se describe el desarrollo a lo largo de esta primera parte.

**2) Estimación de volumen anual empleado para los distritos de riego (DR):**

Su estimación comienza con la consulta de las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego elaborados por parte de la CONAGUA (2020b). A partir de esta información, dentro de la RH-30 se identificaron tres DR (059-Río Blanco, 101-Cuxtepeques y 107-San Gregorio) y se recabó el volumen regado entre los años 1998 y 2020. Dichos volúmenes se repartieron a razón de la superficie del cada DR comprendida en cada





cuenca, para después sean incorporadas al consumo de agua destinado para el uso agrícola.

**3) Estimación del volumen anual extraído bajo concesión:** En esta parte, se hizo la consulta de los títulos de concesión de aguas superficiales registrados en el REPDA desde el año de 1994 ( $U_{ca}$ ), a excepción de los usos público-urbano y doméstico; puesto que, se hizo anteriormente un análisis de los dos usos en conjunto. Dichos títulos fueron organizados según el uso consuntivo declarado en una base de datos; en donde, se determinó el volumen anual acumulado de cada uso otorgado a nivel de cuenca hasta el año 2020. Dado que no se hallaron títulos en proceso de inscripción, se consideró omitir este rubro ( $U_{cb} = 0$ ) para todas las cuencas.

**4) Estimación del volumen total anual de extracciones y retornos actuales y su perspectiva al año 2034:** A partir de los volúmenes recabados en las tres etapas anteriores, se hace una suma de todos los aprovechamientos en cada cuenca de manera anual ( $U_{ca}$ ) entre los años 2000 y 2020. A partir de estas cantidades, se elaboró una perspectiva para los siguientes 14 años a través un pronóstico de regresión lineal. Este proceso junto con los dos párrafos anteriores, se desglosan en el Anexo 8.4.

**5) Compilación del volumen anual reservado en la RH-30:** Los volúmenes superficiales destinado para reservas ( $U_{cc}$ ) fueron proporcionadas por el Decreto en el que se establecen zonas de reserva de aguas nacionales superficiales para los usos doméstico, público urbano y ambiental o conservación ecológica en las cuencas de la RH-30 (DOF, 2018b). Dicho decreto, establece un volumen total reservado de 400,117 Mm<sup>3</sup> anuales en las 69 cuencas de la RH-30, mismas se pueden consultar en el Cuadro







13. De estos valores, junto con los de  $U_{ca}$  se obtuvo el valor de  $U_c$  para cada cuenca aplicando la Ecuación 13.

**Cuadro 13. Volúmen reservado en  $Mm^3$  entre las 69 cuencas de la RH-30**

Cuenca	$U_{cc}$	Cuenca	$U_{cc}$	Cuenca	$U_{cc}$	Cuenca	$U_{cc}$
3002	1.507	3023	0.651	3045	6.285	3064	0.436
3005	0.752	3024	7.413	3046	6.879	3065	0.312
3006	3.187	3026	1.157	3047	0.190	3066	0.037
3007	5.469	3027	0.540	3048	1.344	3067	2.156
3008	1.259	3030	0.905	3049	5.824	3069	0.317
3009	9.447	3031	0.596	3050	3.918	3070	1.505
3010	0.301	3032	0.747	3051	13.746	3071	2.111
3011	2.337	3033	19.647	3052	10.356	3072	9.791
3012	1.978	3035	8.184	3053	13.914	3073	4.081
3013	3.493	3036	16.054	3054	5.329	3075	0.605
3014	5.094	3037	13.461	3055	1.563	3076	0.261
3015	100.656	3038	0.991	3056	13.897	3077	0.077
3016	6.446	3039	1.789	3057	3.185	3078	13.227
3017	9.105	3040	10.657	3058	4.157	3080	0.503
3019	6.935	3041	2.961	3059	0.027	3081	0.880
3020	0.162	3042	13.350	3061	3.239		
3021	5.480	3043	2.814	3062	0.027		
3022	0.534	3044	3.033	3063	0.216		

Fuente: DOF, 2018b

Es importante mencionar que, en el caso particular en la estimación del volumen anual de extracciones de agua en el marco de los usos público-urbano y doméstico se realizó bajo un proceso de análisis distinto respecto al resto de los usos consuntivos.

Esto se debe a que en los títulos registrados en el REPDA con el uso público-urbano corresponden a organismos operadores de agua potable cuyos volúmenes de extracción generalmente obedecen en función de asegurar el abasto a las necesidades de la población. Con lo cual, una parte importante del volumen extraído es retenido por infraestructura de distribución y de almacenamiento; por lo tanto, el volumen concesionado no refleja el volumen en el consumo real de la población.





Además, se ignora el consumo de poblaciones que están marginados o limitados a los servicios de agua potable, especialmente zonas rurales o conurbadas cuyos aprovechamientos que están en proceso de concesionamiento, o bien, aún no han sido registrados, esto incluye también tomas clandestinas o expiradas en funcionamiento.

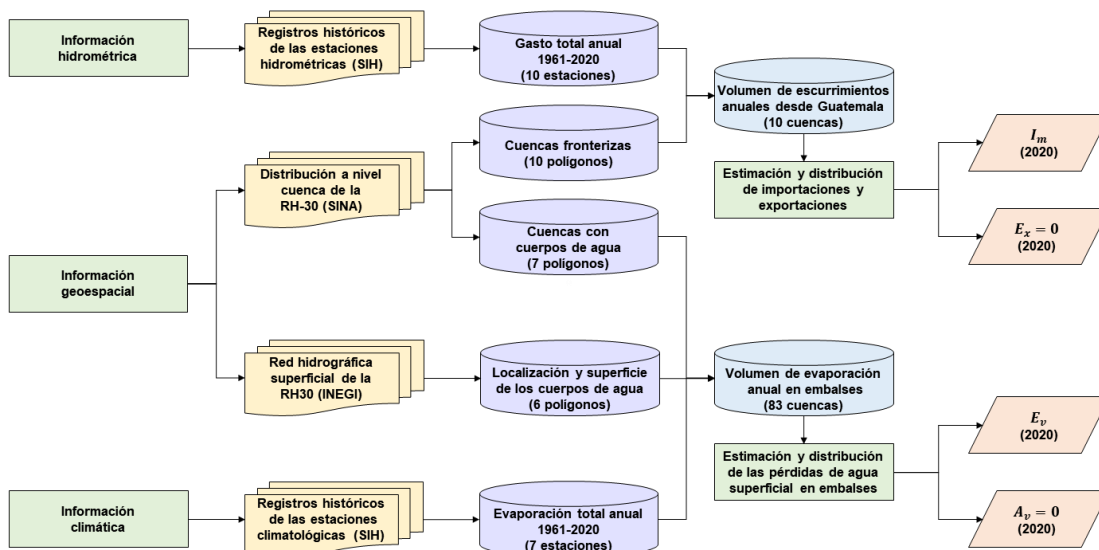
Dado por estas limitaciones, se buscó otro enfoque que represente al consumo en el sector público-urbano integrado con el uso doméstico (cuyos títulos de concesión son muy limitados), para ello se recurrió a través de la perspectiva poblacional asignado una dotación de consumo anual por habitante, así como determinar un porcentaje adicional empleado para los servicios de acceso público y privado en pueblos y ciudades (escuelas, hospitales, comercios, lugares públicos y recreativos, entre otros establecimientos).

#### *5.2.4 Determinación del volumen de otras derivaciones*

En este apartado, se contempla al resto de las variables de la Ecuación 2 que aún no han sido analizadas, mismas que pueden distinguir en cuanto a la dinámica que desempeñan dichas variables: 1) de la interacción del balance hídrico con otras cuencas limítrofes en forma de importaciones ( $I_m$ ) y de exportaciones ( $E_x$ ), 2) de las mermas derivadas de embalses a través de la evaporación ( $E_v$ ) y de la variación de almacenamiento ( $A_v$ ).

En la Figura 16 se muestra el desarrollo general para los dos aspectos mencionamos anteriormente, los procedimientos realizados en el esquema anterior se pueden consultar el Anexo 8.5 de este documento.





Elaboración propia

**Figura 16. Proceso para la determinación del volumen de otras derivaciones**

### 5.2.5 Estimación del volumen de disponibilidad a nivel de cuenca

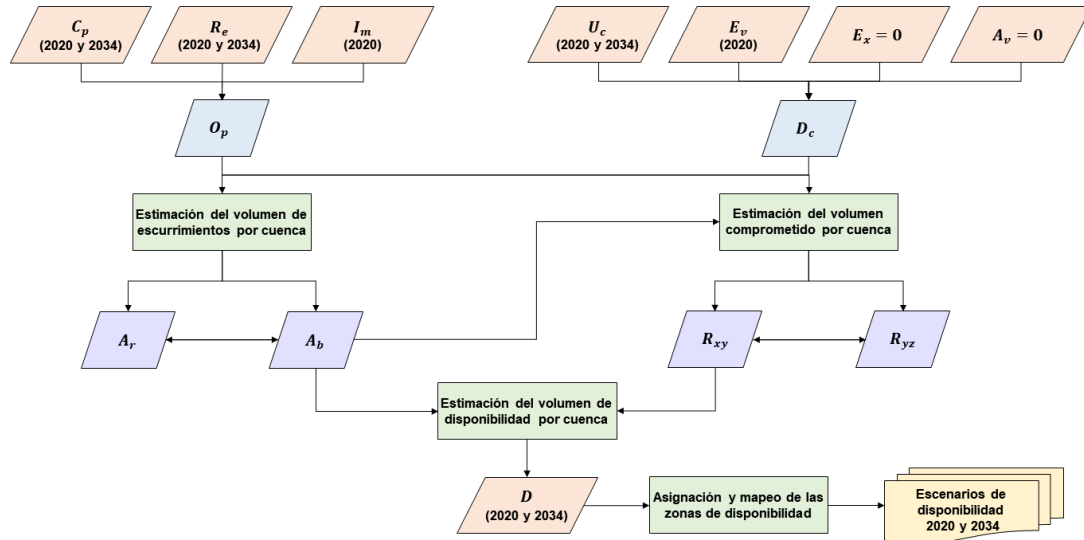
A partir de las variables calculadas en los apartados anteriores ( $C_p$ ,  $R_e$ ,  $I_m$ ,  $U_c$  y  $E_v$ ) se determinó el volumen de la oferta potencial ( $O_p$ ) y de la demanda consuntiva ( $D_m$ ), se procedió con la determinación del volumen promedio anual de escurrimientos de la cuenca hacia aguas abajo ( $A_b$ ) y el volumen reservado comprometido hacia aguas abajo ( $R_{xy}$ ) para cada una de las 83 cuencas hidrográficas que integran la RH-30.

Para ello y con el apoyo del sistema de interconexión de cuencas de las figuras mostradas en el apartado 5.1.3 de cada Subregión Hidrológica, se emplearon las Ecuaciones 2 y 4 para estimar simultáneamente los valores de  $A_b$  y  $A_r$  y, de las Ecuaciones 5 y 6 para los valores de  $R_{xy}$  y  $R_{yz}$ . En el apartado 4.4 se explica la dinámica y la relación que tienen entre los dos pares de variables.

Finalmente, a través de la Ecuación 1, se hizo el cálculo de la disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica ( $D$ ) para cada uno de los tres



escenarios: uno actual y dos escenarios futuros al 2034 (RCP 4.5 y 8.5). En la figura 16, se muestra la dinámica de las variables y el proceso de desarrollo entre ellas.



Elaboración propia

**Figura 17. Proceso para la determinación de la disponibilidad media anual**

En el Anexo 8.6 se muestran detalladamente los resultados generados en este proceso, así como la integración de los valores de cada una de las variables involucradas para el cálculo de la disponibilidad.





## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Resultados obtenidos

En el Cuadro 14, se muestran los volúmenes de la disponibilidad media anual de agua superficial ( $D$ ) expresados en millones de metros cúbicos ( $Mm^3$ ) anuales correspondientes para cada una de las 83 cuencas que conforman la RH-30 y para cada uno de los tres escenarios resultantes:

1. **Escenario actual 2020 (E20):** Este escenario se construyó a partir de las bases de datos analizados anteriormente abarcando un período de 60 años en total, comenzando en el año de 1961 hasta el 2020, siendo este último año que representa la situación actual y siendo el punto de partida para la proyección de perspectivas en la elaboración de los dos restantes escenarios futuros.
2. **Escenario futuro 2034 - RCP 4.5 (E4.5):** Se basa en las perspectivas futuras de tendencia lineal dirigidas hacia el año 2034, teniendo así un margen de 14 años (2021-2034), especialmente de los valores de precipitación que fueron obtenidos a partir de las proyecciones de escenarios regionalizados de cambio climáticos, particularmente bajo las condiciones del escenario RCP 4.5.
3. **Escenario futuro 2034 - RCP 8.5 (E8.5):** De manera similar al escenario anterior, para este rubro se utilizó las condiciones ambientales para el escenario RCP 8.5, el cual representa una mayor concentración de gases en la atmósfera; y, por ende, se tiene un mayor impacto en las variaciones climatológicas sobre los niveles de disponibilidad, particularmente en torno a la precipitación.



**Cuadro 14. Valores de disponibilidad a diferentes escenarios**

<b>Cuenca</b>	<b>D (E20)</b>	<b>D (E4.5)</b>	<b>D (E8.5)</b>	<b>Cuenca</b>	<b>D (E20)</b>	<b>D (E4.5)</b>	<b>D (E8.5)</b>
3001	31.34	6.65	5.19	3043	309.21	247.69	229.79
3002	19.96	2.91	2.11	3044	3,229.80	3,569.23	3,353.15
3003	12.47	1.49	1.09	3045	1,764.80	2,293.74	2,127.93
3004	3.72	0.38	0.27	3046	2,026.67	1,959.41	1,843.28
3005	9.13	2.01	1.43	3047	6,910.99	7,907.97	7,276.34
3006	68.47	14.51	11.28	3048	2,663.75	2,776.64	2,591.38
3007	97.89	18.26	13.94	3049	609.63	563.00	490.39
3008	14.21	3.25	2.31	3050	1,500.89	1,769.97	1,648.22
3009	19.58	2.83	1.86	3051	1,636.52	2,147.27	1,989.04
3010	9.00	1.70	1.24	3052	564.24	663.72	595.74
3011	12.54	2.21	1.54	3053	731.76	730.22	706.52
3012	15.75	3.48	2.54	3054	1,213.18	1,093.56	1,053.64
3013	563.71	118.78	91.12	3055	487.79	856.48	836.31
3014	9.69	2.48	1.85	3056	289.03	190.98	175.60
3015	<b>-16.70</b>	<b>-48.62</b>	<b>-57.25</b>	3057	266.85	187.73	176.45
3016	40.77	6.62	4.82	3058	3,438.68	4,045.37	3,919.17
3017	46.41	8.37	6.12	3059	6,345.12	6,245.57	6,239.93
3018	1,487.71	362.54	287.98	3060	3,086.44	3,036.92	3,033.34
3019	60.68	18.27	14.46	3061	1,222.10	1,743.15	1,680.28
3020	170.67	50.28	42.06	3062	1,082.54	1,470.11	1,405.71
3021	93.33	26.98	21.64	3063	369.35	449.12	427.66
3022	85.91	22.79	18.83	3064	385.48	523.08	505.91
3023	3,093.16	1,276.50	1,069.38	3065	233.15	300.10	291.33
3024	479.89	132.45	108.86	3066	423.29	405.31	395.37
3025	68.08	16.61	13.02	3067	441.79	393.80	384.96
3026	6,995.82	4,540.99	3,997.57	3068	22,186.26	23,966.42	23,500.85
3027	129.55	99.92	88.66	3069	2,698.33	2,590.26	2,472.72
3028	249.34	264.25	238.03	3070	33,228.21	32,826.38	32,742.76
3029	15,399.68	11,958.29	11,043.03	3071	622.24	762.80	739.37
3030	479.10	708.62	656.05	3072	1,026.35	1,063.46	968.23
3031	603.76	922.61	864.45	3073	67,159.65	68,705.18	67,478.34
3032	17,290.15	14,560.43	13,459.85	3074	47,669.72	49,032.78	46,534.55
3033	9,504.68	8,097.48	7,440.34	3075	22,644.19	22,405.58	21,896.53
3034	9,671.26	8,255.24	7,577.69	3076	23,263.94	24,032.20	23,566.31
3035	271.83	255.37	221.17	3077	23,267.50	22,880.46	22,306.44
3036	9,454.64	8,013.01	7,372.82	3078	1,198.31	1,092.54	926.28
3037	341.90	343.97	298.26	3079	475.97	449.28	380.12
3038	312.64	370.18	350.41	3080	1,678.34	1,555.96	1,357.52
3039	404.10	378.17	355.32	3081	813.80	514.29	432.76
3040	796.78	801.18	760.24	3082	2,614.77	3,104.62	2,792.86
3041	615.13	767.67	723.92	3083	3,312.27	3,788.20	3,384.20
3042	855.04	783.88	738.63				





De todas las cuencas de la RH-30, solamente una cuenca cuenta con valores negativos, lo que indica un déficit de disponibilidad en los tres escenarios: la cuenca 3015 Tuxtla Gutiérrez. Además, existen otras 19 cuencas con valores menores de los 100 Mm<sup>3</sup> para el E20 , ampliando su número a 21 y a 22 cuencas para los escenarios E4.5 y E8.5 respectivamente.

En contraste, las demarcaciones 3070 Chixoy, 3073 Grijalva y 3034 Usumacinta son las cuencas con los mayores valores de disponibilidad, cuyas magnitudes rebasan los 10 mil Mm<sup>3</sup> junto con otras seis cuencas que cumplen y mantienen esta condición entre los distintos escenarios.

Para tener una mejor apreciación de los resultados, se hizo un mapeo de los valores de disponibilidad en figuras 18, 19 y 20 correspondientes a los escenarios E20, E4.5 y E8.5 respectivamente, haciendo una agrupación en cinco zonas de disponibilidad, cuyos rangos y descripciones se muestran en el Cuadro 15.

**Cuadro 15. Zonas de disponibilidad superficial**

Zona de disponibilidad	Rango de disponibilidad (Mm <sup>3</sup> )	Color de referencia	Descripción
1	Igual o menor a 2.99	Rojo	Déficit
2	3.00 - 9.99	Anaranjado	Riesgo de déficit
3	10.00 - 99.99	Amarillo	Disponibilidad moderada
4	100.00 - 999.99	Verde	Disponibilidad alta
5	1,000.00 en adelante	Azul	Disponibilidad muy alta

Cabe mencionar que, los márgenes y las características de las zonas de disponibilidad fueron propuestos por el autor para esta evaluación, que fue adaptado a partir de las especificaciones del Artículo 231, sección II de la Ley Federal de Derechos, cuya última reforma fue publicado en el DOF el 11 de diciembre del 2013 (DOF,2013).





Con lo anterior, se elaboró un cuadro en donde se cuantificó el número de cuencas en cada escenario por zona de disponibilidad tanto por subregión como la totalidad de la RH-30 (Cuadro 16).

**Cuadro 16. Cuantificación de cuencas por la zona de disponibilidad**

Zona de disponibilidad	Escenario E20	Escenario E4.5	Escenario E8.5
<b><i>Subregión Grijalva-La Concordia</i></b>			
Zona 1	0	6	9
Zona 2	3	4	1
Zona 3	9	2	3
Zona 4	1	1	0
<b><i>Subregión Grijalva-Tuxtla Gutiérrez</i></b>			
Zona 1	1	2	2
Zona 2	1	2	2
Zona 3	6	5	5
Zona 4	2	2	2
Zona 5	3	2	2
<b><i>Subregión Grijalva-Villahermosa</i></b>			
Zona 3	0	0	1
Zona 4	14	14	13
Zona 5	13	13	13
<b><i>Subregión Lacantún</i></b>			
Zona 4	9	9	9
Zona 5	7	7	7
<b><i>Subregión Usumacinta-Laguna de Términos</i></b>			
Zona 4	3	3	5
Zona 5	11	11	9
<b><i>Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta</i></b>			
Zona 1	1	8	11
Zona 2	4	6	3
Zona 3	15	7	9
Zona 4	29	29	29
Zona 5	34	33	31

Comparando la fluctuación en el número total de cuencas de la RH-30 entre los escenarios E20 y E8.5: la Zona 1, fue la única que tuvo un avance positivo al incorporarse otras 10 cuencas, caso distinto sucedió con las zonas 2, 3 y 5 con una diferencia de una, seis y tres cuencas respectivamente.







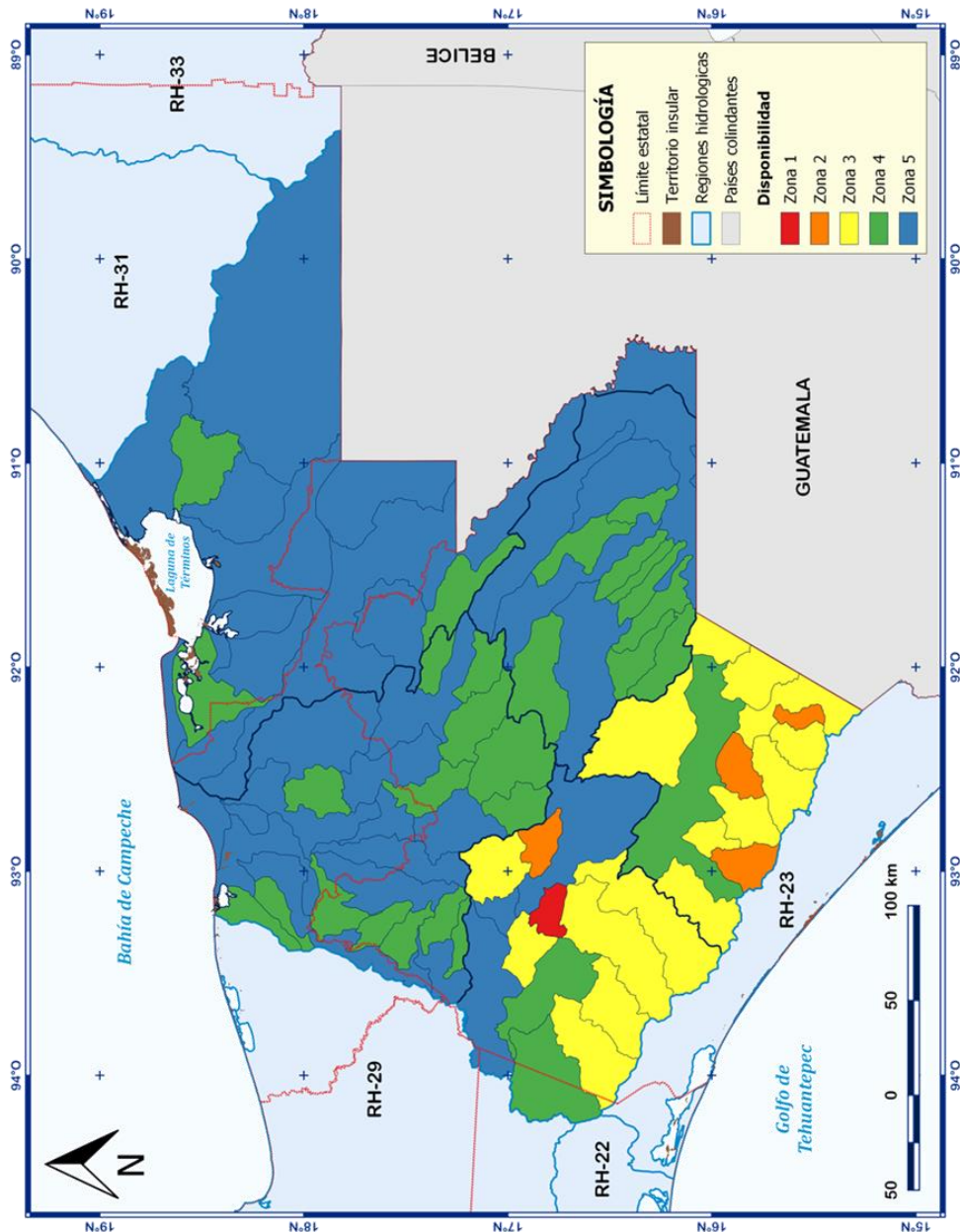
A nivel subregión, haciendo énfasis en las cuencas que presentan una situación crítica de disponibilidad (zonas 1 y 2) se tiene un total de cinco cuencas en el E20, pasando a 14 en ambos escenarios futuros: diez de ellos en la Subregión Hidrológica Grijalva-La Concordia y los cuatro restantes para la Subregión Hidrológica Grijalva-Tuxtla Gutiérrez.

Además de la cuenca 3015 Tuxtla Gutiérrez, las cuencas en las que se prevén un déficit de disponibilidad son: 3002 Yahahuita, 3003 Zacualpa, 3004 Papizaca, 3005 Presa La Concordia, 3008 La Concordia, 3009 Aguacatenco, 3010 Aguazurca, 3011 San Pedro, 3012 Grande o Salinas y 3014 Hondo. Mientras que, las cuencas que presentan mayor riesgo de déficit son: 3001 Lagartero, 3016 Suchiapa y 3017 Santo Domingo, cuyos valores de disponibilidad son menores de los 3Mm<sup>3</sup>.





<b>PLANO No. 4</b>	<b>Zonas de disponibilidad (Escenario actual 2020) en la Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta</b>
<b>MACROLOCALIZACIÓN</b>	
<b>INFORMACIÓN TÉCNICA</b>	<p><b>Datum:</b> Internacional Terrestrial Reference Frame 1992 (ITRF92) México</p> <p><b>Elipsoide:</b> Geodetic Reference System 1980 (GRS80)</p> <p><b>Proyección:</b> Lambert Conformal Conical (LCC)</p> <p><b>Escala absoluta:</b> 1:2 000 000</p>
	<p><b>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</b></p> <p><b>Maestría en Ingeniería en Sistemas Hidráulicos</b></p> <p><b>Proyecto:</b> Análisis de disponibilidad hídrica en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta y su prospectiva al 2034</p> <p><b>Elaboró:</b> Elmer Natanael Sánchez Cortés</p> <p><b>Fecha:</b> Febrero del 2023</p>

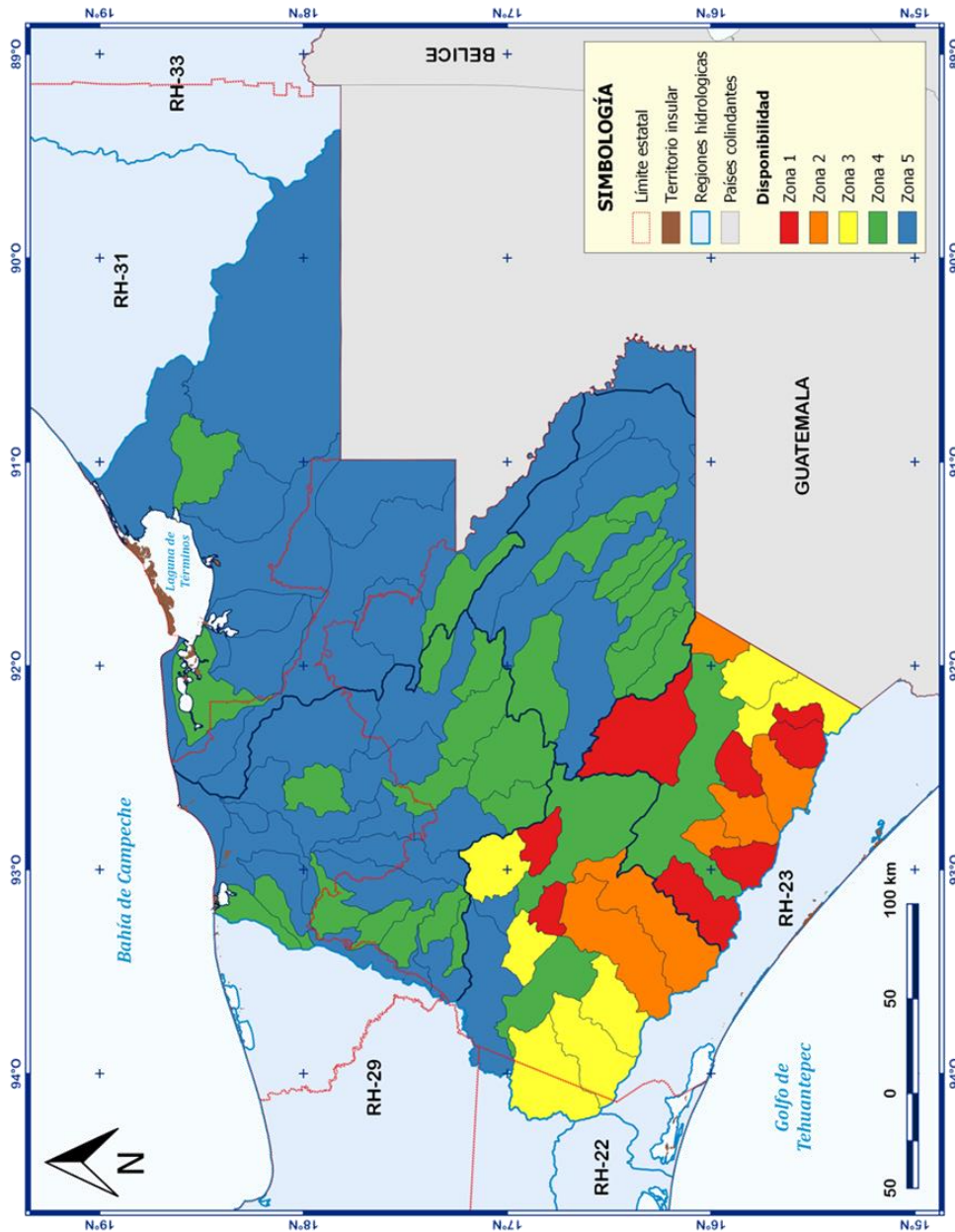


**Figura 18. Zonas de disponibilidad en la RH-30 para el escenario actual 2020**

Elaboración propia



<b>PLANO No. 5</b>
Zonas de disponibilidad (Escenario 2034 RCP 4.5) en la Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta
<b>MACROLOCALIZACIÓN</b>
<b>INFORMACIÓN TÉCNICA</b>
<b>Datum:</b> Internacional Terrestrial Reference Frame 1992 (ITRF92) México
<b>Elipsoide:</b> Geodetic Reference System 1980 (GRS80)
<b>Proyección:</b> Lambert Conformal Conical (LCC)
<b>Escala absoluta:</b> 1:2 000 000
<b>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</b> Maestría en Ingeniería en Sistemas Hidráulicos
<b>Proyecto:</b> Análisis de disponibilidad hídrica en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta y su prospectiva al 2034
<b>Elaboró:</b> Elmer Nataanael Sánchez Cortés
<b>Fecha:</b> Febrero del 2023



**Figura 19. Zonas de disponibilidad en la RH-30 para el escenario 2034 RCP 4.5**

Elaboración propia



<b>PLANO No. 6</b>
Zonas de disponibilidad (Escenario 2034 RCP 8.5) en la Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta
<b>MACROLOCALIZACIÓN</b>
<b>INFORMACIÓN TÉCNICA</b>
<b>Datum:</b> Internacional Terrestrial Reference Frame 1992 (ITRF92) México
<b>Elipsoide:</b> Geodetic Reference System 1980 (GRS80)
<b>Proyección:</b> Lambert Conformal Conical (LCC)
<b>Escala absoluta:</b> 1:2 000 000
<b>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</b> Maestría en Ingeniería en Sistemas Hidráulicos
<b>Proyecto:</b> Análisis de disponibilidad hídrica en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta y su prospectiva al 2034
<b>Elaboró:</b> Elmer Nataanael Sánchez Cortés
<b>Fecha:</b> Febrero del 2023

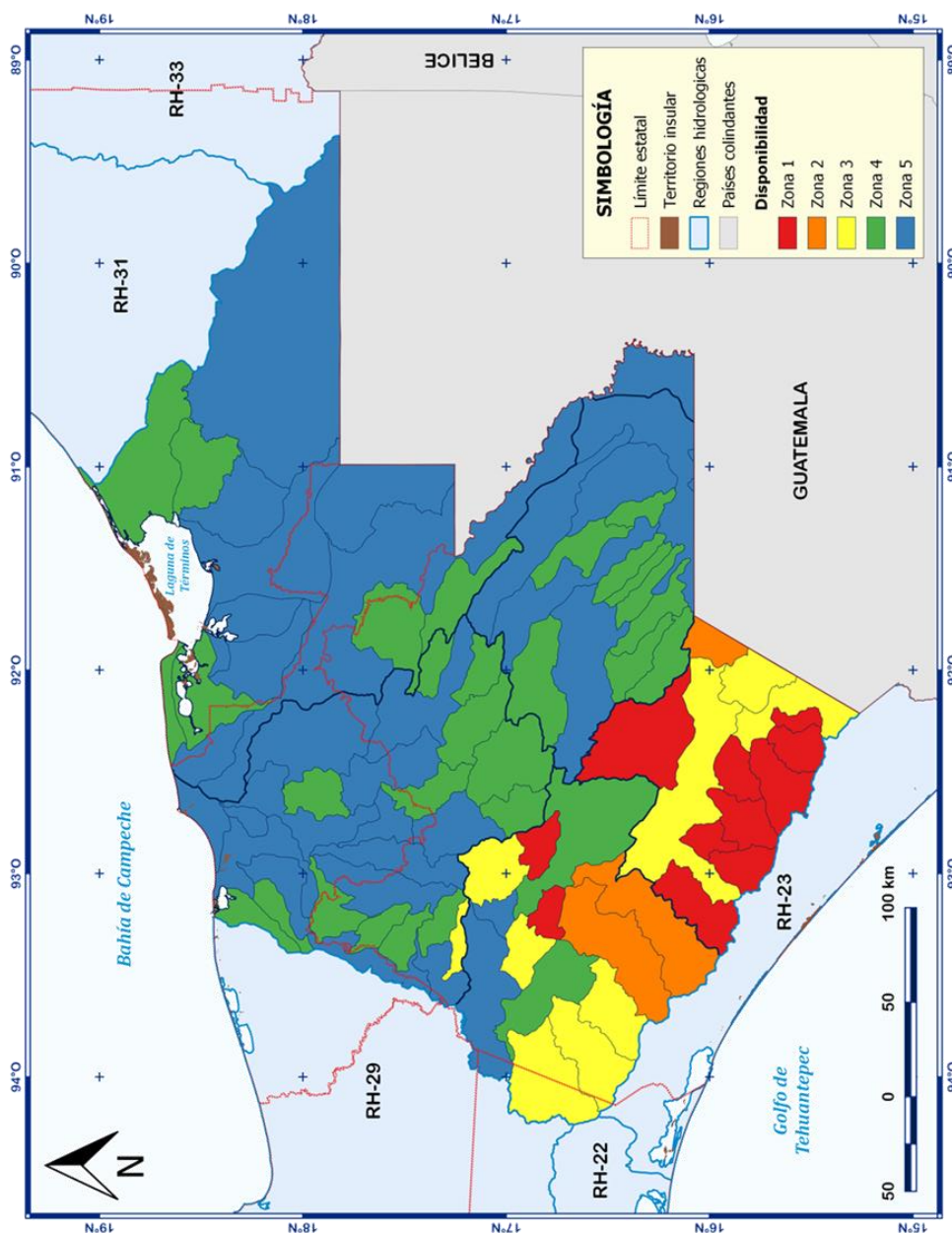


Figura 19. Zonas de disponibilidad en la RH-30 para el escenario 2034 RCP 8.5

Elaboración propia



Partiendo de un análisis comparativo entre el escenario actual con los dos futuros, en el Cuadro 17, se muestran los márgenes de diferenciación por cuencas entre el escenario actual con los dos escenarios futuros en cuanto a su razón volumétrica como porcentual. Si bien, la mayoría de las cuencas presentaron una tendencia negativa en la evolución de la disponibilidad hídrica para el año 2034, teniendo los mayores descensos (mayores del 60%) especialmente en las primeras 26 cuencas hidrográficas.

No obstante, se presentaron 22 cuencas en que la disponibilidad ha tenido un incremento en el volumen de disponibilidad a través del tiempo, siendo la Subregión Hidrológica de Grijalva-Villahermosa y de Lacantún, las que se concentran la mayor parte de los casos con 11 y 8 cuencas respectivamente, con superávits mayores del 25%.

En ambos escenarios futuros, la mayor parte de las cuencas reportadas con valores son negativos, lo cual representa un decrecimiento disponibilidad hídrica y mayor vulnerabilidad de presentar déficit, sobre todo en la vertiente del Río Grijalva (Subregiones Hidrológicas de Grijalva-La Concordia y Grijalva-Tuxtla Gutiérrez). En cambio, las cuencas situadas en la zona centro y norte de la RH-30 presentan diversas variaciones de disponibilidad para el resto de las subregiones hidrológicas.

Tomando en cuenta las disponibilidades del escenario actual [*D* (2020)], se hizo una comparación a partir de la actualización más reciente de los volúmenes de disponibilidad el cual fue publicado en el Diario Oficial de la Federación [*D* (DOF)], dicha comparativa se puede apreciar en el Cuadro 18; en donde, todas las cuencas de la RH-30 reportadas en el DOF presentan valores de disponibilidad son inferiores a diferencia de las cantidades calculadas en el escenario actual realizado en este trabajo.



**Cuadro 17. Márgenes de diferencia en Mm<sup>3</sup> entre los escenarios actual y futuros**

Cuenca	Dif. 4.5	Dif. 8.5	% (4.5)	% (8.5)	Cuenca	Dif. 4.5	Dif. 8.5	% (4.5)	% (8.5)
3001	24.69	26.15	-78.8%	-83.4%	3043	61.52	79.42	-19.9%	-25.7%
3002	17.05	17.85	-85.4%	-89.4%	3044	-339.43	-123.35	10.5%	3.8%
3003	10.98	11.38	-88.0%	-91.2%	3045	-528.94	-363.14	30.0%	20.6%
3004	3.34	3.45	-89.8%	-92.7%	3046	67.25	183.39	-3.3%	-9.0%
3005	7.12	7.70	-78.0%	-84.4%	3047	-996.98	-365.35	14.4%	5.3%
3006	53.97	57.19	-78.8%	-83.5%	3048	-112.89	72.37	4.2%	-2.7%
3007	79.63	83.95	-81.3%	-85.8%	3049	46.63	119.24	-7.6%	-19.6%
3008	10.96	11.90	-77.1%	-83.7%	3050	-269.08	-147.33	17.9%	9.8%
3009	16.75	17.72	-85.5%	-90.5%	3051	-510.75	-352.52	31.2%	21.5%
3010	7.29	7.76	-81.1%	-86.3%	3052	-99.48	-31.50	17.6%	5.6%
3011	10.34	11.00	-82.4%	-87.7%	3053	1.54	25.24	-0.2%	-3.4%
3012	12.27	13.21	-77.9%	-83.9%	3054	119.62	159.54	-9.9%	-13.2%
3013	444.93	472.59	-78.9%	-83.8%	3055	-368.69	-348.52	75.6%	71.4%
3014	7.22	7.84	-74.4%	-80.9%	3056	98.05	113.43	-33.9%	-39.2%
3015	31.91	40.55	0.0%	0.0%	3057	79.12	90.40	-29.7%	-33.9%
3016	34.15	35.95	-83.8%	-88.2%	3058	-606.69	-480.49	17.6%	14.0%
3017	38.04	40.29	-82.0%	-86.8%	3059	99.55	105.19	-1.6%	-1.7%
3018	1,125.16	1,199.73	-75.6%	-80.6%	3060	49.52	53.10	-1.6%	-1.7%
3019	42.41	46.22	-69.9%	-76.2%	3061	-521.05	-458.17	42.6%	37.5%
3020	120.40	128.61	-70.5%	-75.4%	3062	-387.56	-323.17	35.8%	29.9%
3021	66.35	71.69	-71.1%	-76.8%	3063	-79.77	-58.31	21.6%	15.8%
3022	63.12	67.08	-73.5%	-78.1%	3064	-137.60	-120.43	35.7%	31.2%
3023	1,816.66	2,023.78	-58.7%	-65.4%	3065	-66.95	-58.17	28.7%	25.0%
3024	347.44	371.03	-72.4%	-77.3%	3066	17.98	27.91	-4.2%	-6.6%
3025	51.47	55.06	-75.6%	-80.9%	3067	47.99	56.82	-10.9%	-12.9%
3026	2,454.82	2,998.24	-35.1%	-42.9%	3068	-1,780.16	-1,314.58	8.0%	5.9%
3027	29.63	40.89	-22.9%	-31.6%	3069	108.08	225.62	-4.0%	-8.4%
3028	-14.91	11.31	6.0%	-4.5%	3070	401.83	485.45	-1.2%	-1.5%
3029	3,441.38	4,356.64	-22.3%	-28.3%	3071	-140.56	-117.13	22.6%	18.8%
3030	-229.51	-176.95	47.9%	36.9%	3072	-37.11	58.13	3.6%	-5.7%
3031	-318.85	-260.70	52.8%	43.2%	3073	-1,545.53	-318.68	2.3%	0.5%
3032	2,729.72	3,830.30	-15.8%	-22.2%	3074	-1,363.06	1,135.17	2.9%	-2.4%
3033	1,407.20	2,064.34	-14.8%	-21.7%	3075	238.61	747.66	-1.1%	-3.3%
3034	1,416.02	2,093.57	-14.6%	-21.6%	3076	-768.26	-302.37	3.3%	1.3%
3035	16.46	50.65	-6.1%	-18.6%	3077	387.05	961.06	-1.7%	-4.1%
3036	1,441.62	2,081.81	-15.2%	-22.0%	3078	105.77	272.03	-8.8%	-22.7%
3037	-2.07	43.64	0.6%	-12.8%	3079	26.69	95.85	-5.6%	-20.1%
3038	-57.54	-37.77	18.4%	12.1%	3080	122.38	320.82	-7.3%	-19.1%
3039	25.94	48.78	-6.4%	-12.1%	3081	299.52	381.05	-36.8%	-46.8%
3040	-4.40	36.53	0.6%	-4.6%	3082	-489.85	-178.08	18.7%	6.8%
3041	-152.54	-108.79	24.8%	17.7%	3083	-475.94	-71.93	14.4%	2.2%
3042	71.17	116.41	-8.3%	-13.6%					



**Cuadro 18. Comparación de los volúmenes en Mm<sup>3</sup> de disponibilidad actual**

Cuenca	D (2020)	D (DOF)*	Diferencia	Cuenca	D (2020)	D (DOF)*	Diferencia
3001	31.34	0.02	31.32	3043	309.21	30.81	278.40
3002	19.96	0.06	19.90	3044	3,229.80	384.65	2,845.15
3003	12.47	0.03	12.44	3045	1,764.80	192.37	1,572.43
3004	3.72	0.01	3.71	3046	2,026.67	214.03	1,812.63
3005	9.13	0.03	9.09	3047	6,910.99	872.71	6,038.28
3006	68.47	0.23	68.25	3048	2,663.75	269.92	2,393.83
3007	97.89	0.44	97.46	3049	609.63	68.67	540.95
3008	14.21	0.05	14.16	3050	1,500.89	158.71	1,342.17
3009	19.58	0.05	19.53	3051	1,636.52	188.03	1,448.49
3010	9.00	0.05	8.95	3052	564.24	49.31	514.93
3011	12.54	0.05	12.50	3053	731.76	22.16	709.60
3012	15.75	0.07	15.68	3054	1,213.18	39.37	1,173.81
3013	563.71	1.61	562.11	3055	487.79	17.71	470.09
3014	9.69	0.10	9.60	3056	289.03	1.07	287.97
<b>3015</b>	<b>-16.70</b>	<b>-36.21</b>	<b>19.50</b>	3057	266.85	2.81	264.04
3016	40.77	0.32	40.45	3058	3,438.68	116.77	3,321.91
3017	46.41	0.40	46.01	3059	6,345.12	148.00	6,197.12
3018	1,487.71	12.25	1,475.46	3060	3,086.44	71.83	3,014.61
3019	60.68	2.57	58.11	3061	1,222.10	47.74	1,174.37
3020	170.67	3.58	167.10	3062	1,082.54	43.91	1,038.63
3021	93.33	1.87	91.47	3063	369.35	12.10	357.25
3022	85.91	2.12	83.79	3064	385.48	14.86	370.62
3023	3,093.16	162.44	2,930.72	3065	233.15	10.50	222.65
3024	479.89	11.33	468.56	3066	423.29	19.06	404.23
3025	68.08	2.03	66.05	3067	441.79	15.21	426.58
3026	6,995.82	250.35	6,745.47	3068	22,186.26	601.55	21,584.71
3027	129.55	29.36	100.19	3069	2,698.33	116.72	2,581.62
3028	249.34	47.41	201.93	3070	33,228.21	1,082.94	32,145.27
3029	15,399.68	1,531.60	13,868.08	3071	622.24	23.94	598.30
3030	479.10	197.57	281.53	3072	1,026.35	43.38	982.98
3031	603.76	285.47	318.29	3073	67,159.65	2,183.99	64,975.66
3032	17,290.15	9,282.31	8,007.84	3074	47,669.72	5,393.62	42,276.10
3033	9,504.68	1,483.42	8,021.26	3075	22,644.19	49.41	22,594.78
3034	9,671.26	1,514.02	8,157.24	3076	23,263.94	69.51	23,194.44
3035	271.83	161.86	109.97	3077	23,267.50	50.86	23,216.65
3036	9,454.64	8,362.66	1,091.98	3078	1,198.31	194.12	1,004.19
3037	341.90	210.34	131.56	3079	475.97	89.10	386.87
3038	312.64	45.42	267.22	3080	1,678.34	151.43	1,526.91
3039	404.10	29.90	374.20	3081	813.80	129.99	683.82
3040	796.78	76.82	719.96	3082	2,614.77	1,477.60	1,137.17
3041	615.13	57.85	557.29	3083	3,312.27	1,685.64	1,626.63
3042	855.04	90.63	764.41				

\*Fuente: DOF (2020)





Con la finalidad de presentar un panorama en las prospectivas de los recursos hídricos superficiales, se estimaron los volúmenes totales de los escurrimientos naturales, extracciones superficiales y de disponibilidad en los escenarios E20, E4.5 y E8.5.

Para ello, se hicieron las sumas para los tres principales ríos de la RH-30: Río Candelaria (Cuencas 3082 y 3083), Río Grijalva (todas las cuencas de las SRG Grijalva-Concordia, Grijalva-Tuxtla Gutiérrez y Grijalva-Villahermosa), Río Usumacinta (SRG Grijalva-Laguna de Términos, exceptuando las cuencas 3082 y 3083). Se emplearon volúmenes de  $C_p$  para el cálculo de los escurrimientos naturales; mientras que, para las extracciones fueron representados con la variable de la demanda consuntiva ( $D_c$ ).

Para el caso de la cuantificación de la disponibilidad, se sumaron los volúmenes de 12 cuencas con puntos de desembocaduras agrupadas en tres subtotales que representan a los tres principales ríos de la RH-30 (Cuadro 19).

**Cuadro 19. Cuencas que representan el total de disponibilidad de la RH-30**

Clave	Cuenca	Subregión hidrológica	Desembocadura
<i>Disponibilidad del Río Grijalva</i>			
3036	Samaría	Grijalva-Villahermosa	Golfo de México
3037	Caxcuchapa	Grijalva-Villahermosa	Golfo de México
3074	Grijalva	Grijalva-Villahermosa	Golfo de México
<i>Disponibilidad del Río Usumacinta y Laguna de Términos</i>			
3056	Comitán	Lacantún	Cuenca endorreica
3057	Margaritas	Lacantún	Cuenca endorreica
3076	San Pedro y San Pablo	Grijalva-Villahermosa	Golfo de México
3077	Laguna del Este	Usumacinta-Laguna de Términos	Golfo de México
3078	Laguna de Términos	Usumacinta-Laguna de Términos	Laguna de Términos
3079	Mamantel	Usumacinta-Laguna de Términos	Golfo de México
3080	Cumpan	Usumacinta-Laguna de Términos	Laguna de Términos
3081	Laguna del Pom y Atasta	Usumacinta-Laguna de Términos	Laguna de Términos
<i>Disponibilidad del Río Candelaria</i>			
3083	Bajo Candelaria	Usumacinta-Laguna de Términos	Laguna de Términos







Los resultados obtenidos en los tres rubros mencionados anteriormente se muestran el Cuadro 20.

**Cuadro 20. Valores de escurrimiento, extracción y disponibilidad por escenario**

<b>Zona de influencia</b>	<b>Escenario actual 2020 (E20)</b>	<b>Escenario 2034 RCP 4.5 (E4.5)</b>	<b>Escenario 2034 RCP 8.5 (E8.5)</b>
<i>Volumen medio anual de escurrimientos naturales (Mm<sup>3</sup>)</i>			
Río Candelaria	2,802.64	3,329.38	2,925.38
Río Grijalva	33,579.97	32,631.67	29,844.95
Río Usumacinta	25,547.69	27,187.80	25,199.80
Ríos Grijalva-Usumacinta	59,127.66	59,819.47	55,044.75
<b>Total (RH-30)</b>	<b>61,930.30</b>	<b>63,148.85</b>	<b>57,970.13</b>
<i>Volumen anual de extracción de agua superficial (Mm<sup>3</sup>)</i>			
Río Candelaria	214.11	278.13	278.13
Río Grijalva	60,799.77	80,344.76	80,344.76
Río Usumacinta	1,387.22	2,682.03	2,682.03
Ríos Grijalva-Usumacinta	62,186.99	83,026.79	83,026.79
<b>Total (RH-30)</b>	<b>62,401.10</b>	<b>83,304.92</b>	<b>83,304.92</b>
<i>Disponibilidad media anual (Mm<sup>3</sup>)</i>			
Río Candelaria	3,312.27	3,788.20	3,788.20
Río Grijalva	57,466.26	57,389.76	54,205.63
Río Usumacinta	51,253.75	50,903.44	49,321.48
Ríos Grijalva-Usumacinta	108,720.01	108,293.20	103,527.11
<b>Total (RH-30)</b>	<b>112,032.28</b>	<b>112,081.40</b>	<b>107,315.31</b>

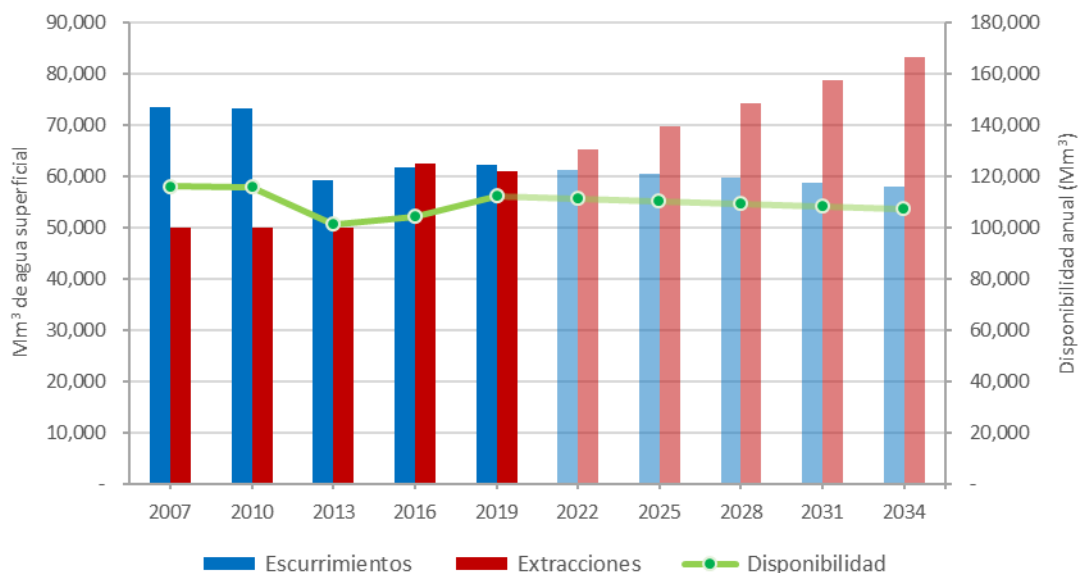
A partir de los valores totales de la RH-30, se elaboró un compendio de los volúmenes de escurrimientos, extracciones y de disponibilidades en el período 2007-2034 (Cuadro y Figura 21) en un intervalo de cada tres años. Esta periodicidad corresponde al margen de tiempo que se llevan a cabo las actualizaciones de los estudios de disponibilidad publicados en el DOF.

Para los años 2007-2016 corresponden a los valores del Cuadro 7 de los primeros cuatro reportes; mientras que el resto, corresponden a la tendencia lineal entre los totales de la RH-30 de los escenarios E20 y E8.5, se optó este último escenario puesto que tiene una ligera mayor diferencia a comparación del E4.5.



**Cuadro 21. Volúmenes de escurrimiento, extracción y disponibilidad (2007-2034)**

Año	Volumen anual de escurrimientos naturales (Mm <sup>3</sup> )	Volumen anual de extracciones superficiales (Mm <sup>3</sup> )	Disponibilidad media anual (Mm <sup>3</sup> )
2007	73,465.59	49,963.40	116,091.55
2010	73,315.81	49,965.83	115,939.34
2013	59,297.44	49,964.85	101,493.25
2016	61,881.07	62,449.29	104,396.75
2019	62,213.17	60,907.97	112,369.21
2022	61,364.56	65,387.36	111,358.43
2025	60,515.95	69,866.75	110,347.65
2028	59,667.35	74,346.14	109,336.87
2031	58,818.74	78,825.53	108,326.09
2034	57,970.13	83,304.92	107,315.31



**Figura 21. Proyección del escurrimiento, extracción y disponibilidad de la RH-30**

En la Figura 21, se observa una tendencia decreciente del 26.73% entre los años 2007 al 2034 para el volumen escurrimientos naturales, caso contrario sucede respecto con las extracciones donde se tiene un notable incremento multiplicando por 1.67 el volumen inicial del 2007 frente al 2034. En cuanto a la evolución de la disponibilidad se tiene un ligero descenso de 8.18%, manteniendo una disponibilidad superior de los 100 mil Mm<sup>3</sup> a lo largo del tiempo.





## 7.2 Discusión

Actualmente, la RH-30 Grijalva-Usumacinta es considerada como la Región Hidrológica con la mayor disponibilidad de recursos hídricos superficiales con 112,032 Mm<sup>3</sup> (poco mayor a los 104,397 Mm<sup>3</sup> estimados en la última actualización en el DOF), dado que una parte importante corresponden a las cuencas situadas en la sierra Norte de Chiapas y la Sierra Lacandona.

Ambas zonas, presentan un relieve predominante montañoso cuya condición favorece una gran concentración de lluvias, cuyos registros anuales son superiores a los 3,000 mm; lo cual, se tienen importantes escurrimientos y disponibilidades naturales que aportan a los ríos Grijalva y Usumacinta.

Además, esta condición orográfica limita el desarrollo de centros poblaciones, industriales y de riego cuyo impacto en la prospectiva del consumo va a ser menor, teniendo así una mayor disponibilidad para el aprovechamiento de otros usos potenciales; por ejemplo, en el desarrollo de proyectos hidroeléctricos, principalmente en las cuencas: 3044 Tulijá, 3045 Macuxpana, 3046 Almendro, 3050 De la Sierra, 3051 Pichucalco, 3054 Tzaconeja, 3058 Jatate y 3061 Lacanjá.

Analizando los valores del Cuadro 21 y la gráfica de la Figura 21, se puede confirmar el crecimiento acelerado de las extracciones superficiales, derivado en mayor medida al notorio crecimiento poblacional, especialmente por la migración interna de las zonas rurales hacia las zonas urbanas, siendo éstas las que deben cubrir las necesidades hídricas de la población y las actividades económicas que se realizan.





En cuanto a la fluctuación de los escurrimientos naturales, se debe fundamentalmente a los cambios de la precipitación derivados del cambio climático. Comparado los escurrimientos del E20 con el E4.5, se tiene un incremento de 1,226 Mm<sup>3</sup>; en cambio, en el E8.5 se presenta una considerable disminución de 3,960 Mm<sup>3</sup>. Teniendo así un mayor impacto en el ciclo hidrológico para el E4.5 que en el E4.5.

A pesar de que se espera una ligera estabilidad en la disponibilidad hídrica de la RH-30, esto no quiere decir que sucede el mismo caso cuando se hace un análisis a nivel cuenca, esto se refuerza a través del Cuadro 16 y de las figuras 17, 18 y 19, en donde, se tiene los valores más bajos de disponibilidad y, por ende, mayor riesgo de presentar déficit, sobre todo en 14 cuencas de las subregiones de Grijalva-La Concordia y Grijalva-Tuxtla Gutiérrez.

Ambas subregiones se localizan sobre los Altos de Chiapas, la Depresión Central de Chiapas y en laderas del sotavento en la Sierra Sur de Chiapas, donde se tienen las precipitaciones más bajas de las RH-30 (alrededor de los 700 mm anuales). Esto hace que ambas subregiones sean sensibles a los cambios de precipitación producto del cambio climático, diagnosticando una reducción tanto de los volúmenes de escurrimientos como los de disponibilidad.

En el caso de la subregión Grijalva-La Concordia, se debe a la alta demanda para el sector agrícola, debido a la por la presencia de los tres Distritos de Riego existentes en la RH-30 (059 Río Blanco, 101 Cuxtepeques y 107 San Gregorio) cuyo consumo en el año 2020 es de 212.7 Mm<sup>3</sup>, poco más de la mitad del consumo del resto de las cuencas del Grijalva-La Concordia exceptuando a la cuenca 3013 Presa La Angostura.





En ésta última cuenca, se tiene una situación crítica puesto que, en el escenario E8.5 se prevé una disponibilidad menor de 100Mm<sup>3</sup>, lo que podría generar un descenso del nivel del agua de la Presa Belisario Domínguez teniendo afectaciones para el sector agrícola y agudizando la escasez de agua en ciudades como Comitán de Domínguez, Las Rosas, Teopisca, Frontera Comalapa y Motozintla de Mendoza.

Para el caso de la Subregión Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, obedece más a la demanda requerida por parte de la población, concentrando alrededor del 26.7% del total de la RH-30 (1,832,021 habitantes) en su mayor parte en las ciudades de Tuxtla Gutiérrez, San Cristóbal de las Casas, Chiapa de Corzo, Berriozábal, Ocozocoautla de Espinoza y Cintalapa de Figueroa, que son puntos donde se tiene una mayor presión sobre los recursos hídricos.

De las 13 cuencas que conforma la Subregión Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, se tiene el caso de la cuenca 3015 Tuxtla Gutiérrez en donde se presenta un balance negativo de disponibilidad, es decir, es más agua que se consume de la que se ingresa al sistema. Ante ello, es necesario recurrir a otras fuentes, tales como la extracción de aprovechamientos subterráneos o la importación de otras cuencas aledañas para cubrir un déficit de 36.21 Mm<sup>3</sup>, que puede incrementarse hasta 57.25 Mm<sup>3</sup> en el 2034 (E8.5).

Esto se debe que, la ciudad de Tuxtla Gutiérrez con una población de 578,830 habitantes y al ser un importante centro comercial y de servicios, representa en conjunto un consumo alrededor 172 Mm<sup>3</sup> (el más alto de la RH-30), agudizando su situación para los siguientes años por el continuo crecimiento de la mancha urbana y generar serios problemas en la gestión de los recursos hídricos.





## VII. CONCLUSIONES

Al realizar el análisis y discusión en la evolución de la disponibilidad entre los años 2020-2034, se espera una tendencia negativa en los volúmenes de disponibilidad hídrica superficial para el año 2034, sobre todo en las cuencas donde se tienen los principales aprovechamientos para los usos agrícola y público-urbano, derivados por el asentamiento de los principales centros urbanos y de los tres Distritos de Riego, particularmente en las Regiones Hidrológicas de Grijalva-La Concordia y Grijalva-Usumacinta cuyas cuencas tienen los valores más bajo de disponibilidad. Con lo cual, se corrobora con la hipótesis planteado.

Es evidente que para las 14 cuencas situadas en el alto y medio Grijalva tienen una mayor vulnerabilidad de presentar déficits, con lo que se abre la obligación de establecer estrategias y la toma de decisiones a mediano y largo plazo para afrontar esta situación en esta importante región en materia social, política, económica y ambiental.

Como medidas a corto plazo es necesario que se desarrollen instrumentos regulatorios en el aprovechamiento de las aguas superficiales y la decretación de vedas que permitan limitar el consumo de agua, al menos sobre la cuenca 3015 Tuxtla Gutiérrez y 13 cuencas más con mayor riesgo de presentar un balance negativo en su disponibilidad. Así como también, tener una eficiente gestión de los recursos hídricos para los usos consuntivos agrícola y público-urbano, a través de organismos operadores de las unidades de riego y del servicio de agua potable respectivamente.

Es importante considerar que el diagnóstico realizado para toda la RH-30 no se pueden aplicar de manera homogénea cuando se hace un análisis a nivel cuenca. Dado





por la gran extensión superficial y a la gran cantidad de cuencas de la RH-30, los diagnósticos manejados a nivel Subregión Hidrológica son más precisos y confiables que al abordarlos en su totalidad, cuyas consideraciones en cuanto a la superficie y el número de cuencas deben tomarse en cuenta cuando se realicen estudios de disponibilidad en otras Regiones Hidrológicas.

Por otra parte, al contemplar la evolución de los volúmenes correspondientes a los escurrimientos naturales y de extracciones superficiales, que representan a la oferta y demanda de agua, que fungen como indicadores que permiten tener un mejor panorama en la situación futura de los recursos hídricos. Para este caso, se tiene un notable aumento cada vez más acelerado en la demanda y una oferta con mayores limitaciones hacia al 2034, cuyas tendencias pueden acentuarse significativamente a partir de la segunda mitad de este siglo.

Dicho panorama, se debe a la consideración de los factores que influyen en el cálculo de la disponibilidad hídrica, a través de la elaboración de tendencias lineales de los volúmenes de extracción concesionados por el REPDA y del volumen regado en los Distritos de Riego, además de considerar el incremento poblacional reflejado a través de dotaciones regionalizados.

Aunado con lo anterior, en el caso de la estimación de las prospectivas en cuanto a la oferta hídrica es posible gracias a los escenarios de cambio climático, puesto que se pretender reflejar de manera regionalizada la situación futura de los cambios tanto atmosféricos como en el uso de suelo, derivados de la acción de la humana en las últimas décadas. Ante ello, es sumamente importante realizar más de una evaluación





bajo diferentes grados de impacto del cambio climático a través de los diferentes RCP, permitiendo hacer un análisis comparativo entre ellas y evaluar el grado de influencia sobre la precipitación, que es una parte fundamental en el análisis en las nuevas dinámicas dentro del ciclo hidrológico.

Al integrar todas las consideraciones mencionadas en los dos últimos párrafos, complementando los lineamientos y procedimientos mencionados en la NOM-011-CONAGUA-2015 permite desarrollar una metodología como el que se muestra a lo largo de esta tesis para la realización de estudios de disponibilidad hídrica no solamente en las demás Regiones Hidrológicas que hay en el país y en cualquier parte del mundo.

Metodología, que está sujeto ante nuevos recursos, métodos y consideraciones; por ejemplo, el uso de productos satelitales para la evaluación del uso de suelo y de la distribución de temperaturas y lluvias a lo largo del tiempo y, el análisis en la influencia de los procesos evapotranspiración en la disponibilidad. Con la finalidad de tener resultados más precisos y tener mejor un acercamiento en el análisis y diagnóstico en la situación actual y futura de los recursos hídricos.

Con este enfoque, se pueden definir dos propósitos fundamentales totalmente distintos y complementarios a la vez: 1) la identificación de cuencas potenciales para el aprovechamiento entre los diversos usos del agua de manera eficiente, responsable y respetando los límites establecidos para mantener el equilibrio entre la oferta y la demanda hídrica disponible y, 2) la búsqueda de acciones, decisiones, estrategias, y mecanismos necesarios que permitan corregir el déficit y el riesgo de disponibilidad hídrica para poder preservar de este vital e importante recurso en el futuro.







## VIII. ANEXOS

### 8.1 Análisis de la precipitación anual a partir de estaciones climatológicas.

#### 8.1.1 Selección de las estaciones climatológicas para el período 1961-2020

La distribución de estaciones sobre el área de la RH-30 y de su zona limítrofe, se obtuvo a partir de la Información Estadística Climática, proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2021) mediante la extracción de la red nacional de estaciones climatológicas en aparato de Climatología del sitio web del SMN.

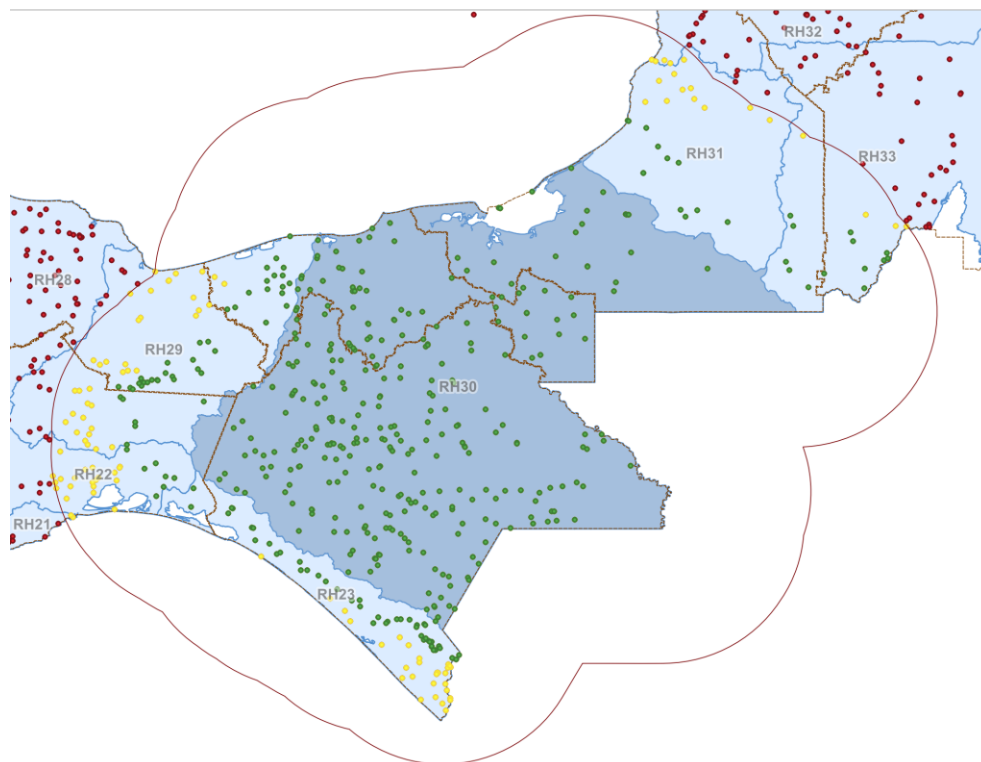
En el programa QGIS 3.20.2 se proyectó dicha red (previamente, se hizo una conversión al formato SHP para su visualización). Para no mostrar todas las estaciones que hay en el país, solamente se conservaron las estaciones climatológicas de los estados de Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.

Haciendo un primer acercamiento en la selección de las estaciones meteorológicas que se van a analizar, se definió un área de influencia en el parteaguas de la RH-30 fijando a una distancia de 100 kilómetros perimetrales, la cual fue propuesta al considerar la magnitud máxima de la escala gráfica de los mapeos elaborados en este trabajo. Se descartaron todas las estaciones climatológicas que se encuentren afuera de la zona de influencia recién delimitado, que vienen representando a los puntos rojos que se muestran en la Figura 22.

Después, se seleccionaron aquellas estaciones climatológicas inscritas considerando primordialmente las estaciones más inmediatas al contorno del parteaguas de la RH-30; de esta manera, se hace un segundo descarte de los puntos más distantes. Esto hace que se optimice el número de estaciones a analizar: de un conjunto de 517



puntos internos, se omitieron 81 estaciones más distantes (puntos amarillos) teniendo así un total de 439 estaciones (puntos verdes).

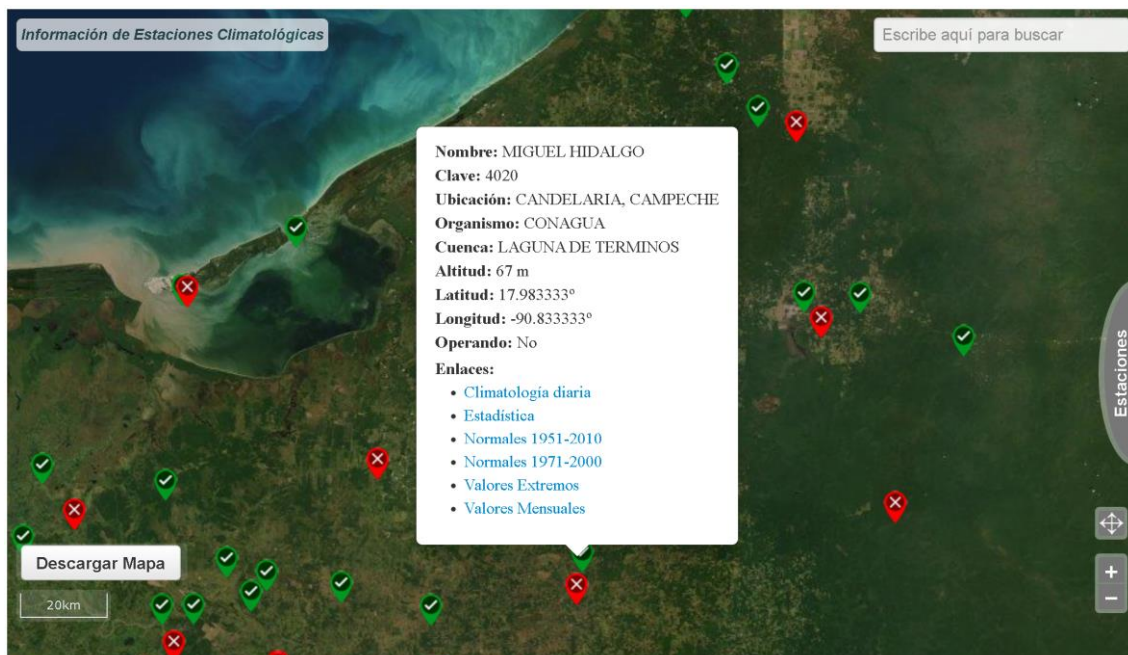


**Figura 22. Primera selección de las estaciones climatológicas**

En la tabla de atributos de la capa del conjunto de puntos representados en verde, se hizo la exportación de los campos: clave, nombre y la entidad federativa en la que se sitúa cada estación meteorológica, cuya información sirvió como índice para la construcción de una base de datos constituido por una serie de hojas de cálculo en Microsoft Excel 2019.

Dentro de la base de datos, se recopiló la cuantificación de los meses con valores de precipitación por cada año registrado, estableciendo un período 1961-2020. Para hacer la recopilación, se consultó los valores mensuales de precipitación de cada estación (Figura 22) en la Información Estadística Climático con el apoyo de la distribución espacial de las estaciones mostradas en la Figura 23 para su identificación.





**Figura 23. Consulta de una estación en la Información Estadística Climática**

En el reporte con los valores de lluvia total mensual de cada estación, se compiló el número de meses con precipitación de cada año de observación, que viene siendo los valores situados dentro del recuadro rojo mostrados en la Figura 24. Dichos valores se exportaron a la hoja de cálculo con el índice de estaciones (Figura 25).

	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ACUMULADO	MEDIA	MESES
00004039																
CANDELARIA (DGE), CANDEL																
LLUVIA MAX 24 H.																
1961	8	5	34	3	3	10	33	6	15	12	4	26	159.0	13.3	12	
1962	8	0	2	18	4	21	11	8	41	17	6	0	136.0	11.3	12	
1963	2	2	9	9.3	0	30	67.5	40	30	15.5	18.5	223.8	20.3	11		
1964	15.5	2.5	4	0.5	138	52.5	56	71	35	16	64	21	476.0	39.7	12	
1965	8.5	17	1.5	23.5	11	46	70	48	45.5	28	49.5	8	356.5	29.7	12	
1966	9	0	16	17	39	35	55	29.5	37	49.5	15	4.5	306.5	25.5	12	
1967	56	13	23.5	25.5	17	41.5	27	34	23.5	67.5	22	10	360.5	30.0	12	
1968	66.5	5	17.5	31.5	64	37	54	29	40	24.5	30.5	47	446.5	37.2	12	
1969	0	0	20	6	85	59	41	0	0	35	0	0	246.0	20.5	12	
1970	14	7	0	25	41	80	29	38	41	44.5	11	14	344.5	28.7	12	
1971	10	3.5	3	0	5.5	62	45	56	50.5	36	55	13	339.5	28.3	12	
1972	64	28	0	16	16	132.5	45.5	44	28	23	88	33	518.0	43.2	12	
1973	11	13.5	1	1.5	68	86	43	64	33	70	39	12.5	442.5	36.9	12	
1974	17.5	28.5	6.5	16	25	57	31.5	46	61.5	91.5	20	10	411.0	34.3	12	
1975	15	41	32	0	54	53	45	40	164	70	16	20	550.0	45.8	12	
1976	55.5	11.5	0	50	91	53	45	49	65.5	38.5	85	13.5	557.5	46.5	12	
1977	0	0	0	0	0	27.5	0	0	0	0	0	0	27.5	2.3	12	
1978	33	30	67.1	3	47	42	30	50	98	34	32	40	506.1	42.2	12	
1979	5	14.5	27	25	35	28.5	73	19	83	37.5	22	10	379.5	31.6	12	
1980	46.5	26	3	14	70	71	26	27.2	70.2	18.4	80.1	23.6	476.0	39.7	12	
1981	12.8	31.6	6.4	0	43.8	66.4	126.1	70.1	34.5	24.7	28.4	23.9	468.7	39.1	12	
1982	10	7	9.3	4	50	23.5	26	39	40	41.5	22.1	6	278.4	23.2	12	
1983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.4	17.4	1.5	12	
1984	29.1	16	11.3	0	153.5	18.2	16.4	25.7	43.3	17.2	34	9.1	373.8	31.2	12	
1985	23	47	47.2	20	10	69.3	53.5	80	60	58.2	78.2	14.3	560.7	46.7	12	
MINIMA		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.4		1.5	
MAXIMA		66.5	47	67.1	50	153.5	132.5	126.1	80	164	91.5	88	47	560.7	46.7	
MEDIA		20.796	13.984	13.652	12.352	42.832	48.829	40.48	37.64	45.98	35.38	32.692	15.812	358.5	29.9	
DESV. ESTANDAR		20.728	13.816	16.973	12.926	41.475	28.375	25.797	23.518	34.294	22.626	27.794	11.812	155.20	12.9	

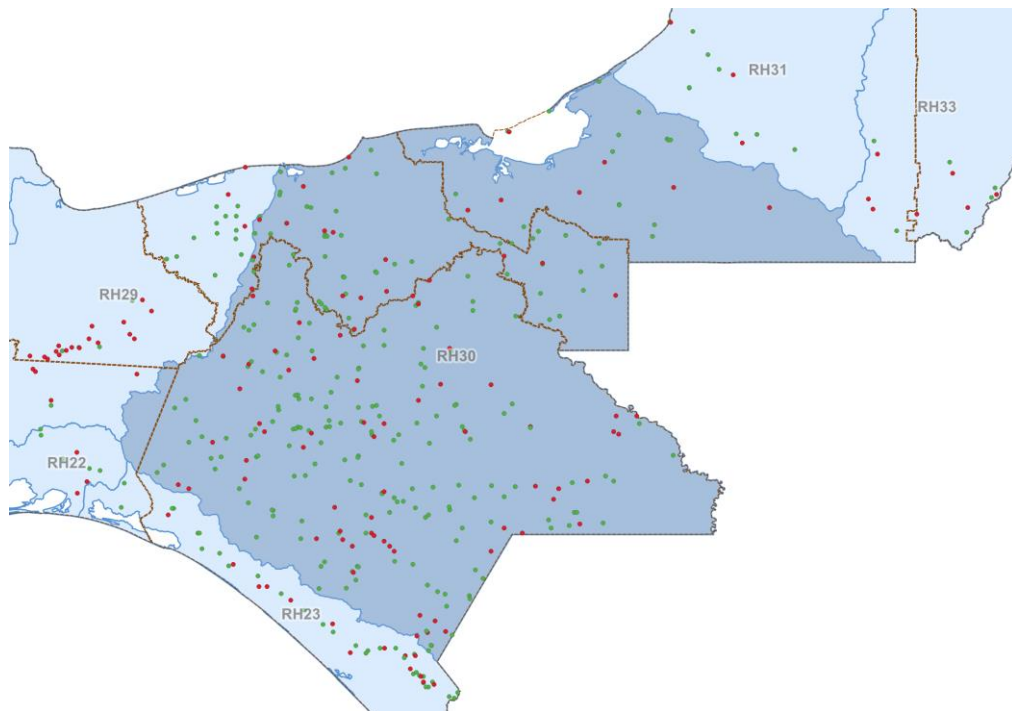
**Figura 24. Reporte de los valores mensuales de lluvia total**



OBS, SMN) por lo que se optó por la fusión entre ellas, considerando tanto la estación con el mayor número de registros completos como de los que reporta más recientemente.

Esta selección consiste en un doble filtro: 1) se descartaron los años que tengan tres o más meses faltantes de cada estación, y 2) se hizo una sumatoria de los años restantes del filtro anterior, en donde se tomó en cuenta las estaciones cuya suma sea mayor de 20 años.

A consecuencia de lo anterior: de las 439 estaciones que fueron identificadas inicialmente (Figura 26): se descartaron 130 estaciones (puntos de color rojo) que no contaban con los suficientes registros para su validación. Resultando un subtotal de 309 estaciones válidas, las cuales se simplificaron a un conjunto de 236 puntos, aplicando la combinación de estaciones que contaban con el mismo nombre de estación, ya sea por el cambio de organismo operador o por la reubicación a otro sitio cercano al original.



**Figura 26. Segunda selección de estaciones climatológicas**





### *8.1.2 Distribución de la precipitación media anual 1961-2020*

Ya con el nuevo conjunto de estaciones, se hizo nuevamente en la Información Estadística Climática la consulta y exportación de los registros de precipitación total mensual en el período 1961-2020 de cada estación, almacenando la información recabada en las hojas de cálculo de la base de datos.

De igual forma, también se hizo una consulta complementaria en la Base de datos histórica del SIH (Sistema de Información Hidrológica) de estaciones climatológicas, hidrométricas e hidrometría en presas. En donde, se extrajo la precipitación y el caudal entre los años 2015 y 2020, aplicando el mismo proceso de los registros diarios como si fuese una estación errónea explicado en el apartado anterior.

La razón en que se empleó esta fuente de complemento se debe a que, el SIH albergan los registros de precipitación diaria más recientes, especialmente en las estaciones de referencia (cuyas claves se identifican por letras en vez de números). Además, el SMN carece de información en algunas estaciones hasta el año 2016, ya que el último año de registro varía en cada estado.

Una vez completado con el llenado histórico de precipitaciones mensuales de cada estación, primero se hizo la estimación del promedio del historial de registros de cada mes que fueron empleados para completar los registros de los meses faltantes aplicando solamente a los años válidos que cuenten con al menos 2 meses con registro faltantes. Después, se estimó la precipitación total de cada año válido al sumar los valores de precipitación mensual y finalmente, se promediaron todas las precipitaciones anuales, teniendo así el valor de la precipitación media anual para el período 1961-2020.





Lo realizado anteriormente se muestra en la Figura 27 para el caso de la estación climatológica de Escuintla; la cual, se complementó con la estación de referencia homónima. En donde el color de la fuente representa la distinción de procedencia de registro de cada estación situada en la primera columna.

Año	Clave 7053 Estación Escuintla (DGE)						Clave ESCCP Estación Escuintla						Suma
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2000	0.0	0.0	5.5	63.5	743.5	553.5	482.6	458.5	692.9	285.6	79.5	0.0	3365.1
2001	0.0	0.0	46.0	86.0	311.7	203.0	603.1	597.0	633.3	312.0	14.0	5.0	2811.1
2002	0.0	0.0	0.0	68.6	268.9	261.7	478.3	511.4	741.9	222.4	85.9	0.0	2639.1
2003	0.0	0.0	0.0	39.4	311.1	983.5	446.3	522.9	924.2	536.2	259.0	0.0	4022.6
2004	0.0	0.0	45.5	3.0	573.0	567.1	694.0	411.2	653.8	425.7	95.3	0.0	3468.6
2005			186.4	119.0	408.8		1154.0	1073.0	1045.8	930.4			
2006	23.0	0.0	6.5	109.4	274.6	573.9	639.6	389.0	714.0	746.0	231.6	111.6	3819.2
2007	9.9	0.0	26.5	96.0	504.2	482.0	511.3	612.3	686.7	553.3	1.0	0.0	3483.2
2008	0.0	37.9	5.7	111.2	227.0	511.8	604.1	793.4	915.1	368.9	2.2	0.0	3577.3
2009	0.0	0.0	40.3	38.3	432.7	676.2	551.5	583.7	574.4	443.9	127.0	12.8	3480.8
2010	0.0	0.0	9.4	84.4	458.8	834.3	649.6	1098.4	993.4	81.5	44.5	0.0	4254.3
2011	1.0	30.4	79.3	156.3	438.3	472.6	797.9	785.6	579.6	294.5	17.0	11.5	3664.0
2012	0.0	33.3	63.7	46.5	406.0	214.2	429.4	683.6	558.1	537.3	43.5	1.8	3017.4
2013	2.0	2.2	0.0	13.8	364.1	357.6	644.2	528.9	665.0	559.3	155.1	11.5	3303.7
2014	0.0	13.9	9.0	134.5	663.6	610.0	355.4	348.8	609.3	384.2	38.2	11.5	3178.4
2015	0.0	0.0	20.2	194.7	243.4	246.2	393.1	342.9	468.6	295.0	192.9	11.5	2408.6
2016	0.0	0.0	10.8	84.5	173.2	502.3	445.5	579.5	662.5	402.5	172.0	0.0	3032.9
2017	5.5	0.1	64.6	84.7	827.0	699.5	767.6	591.0	805.2	443.9	132.7	0.0	4421.8
2018	2.0	3.0	54.8	210.9	735.0	550.4	359.1	494.7	691.4	629.0	206.6	5.0	3941.9
2019	6.7	83.0	13.2	4.5	537.5	528.1	373.1	507.7	900.3	507.8	39.5	0.0	3501.4
2020	18.0	0.0	81.6	15.5	599.5	699.2	675.2	659.4	869.9	402.3	72.0	11.5	4104.1
Promedio	9.9	12.6	33.0	84.7	390.9	554.7	514.7	605.9	672.2	425.7	95.3	11.5	3395.0

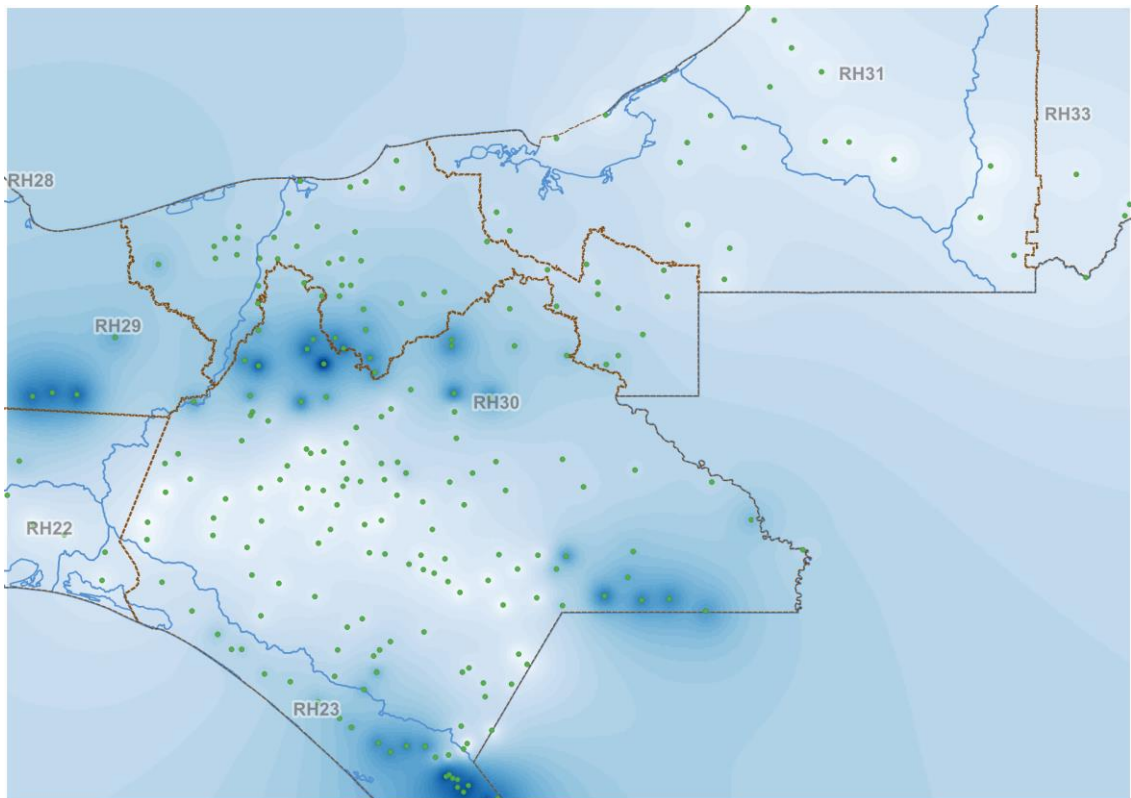
**Figura 27. Resumen de registros mensuales por estación (fragmento de serie)**

Continuando con la descripción anterior: las celdas en azul corresponden a los registros de lluvia total mensual, mientras que las celdas de coloración más clara representan a los meses faltantes de los años considerados como válidos. En la última fila se encuentran las precipitaciones totales anuales y la última columna se encuentra los promedios de cada columna correspondiente.

Ya con el valor de precipitación media anual de cada una de las 236 estaciones climatológicas y del índice de estaciones climatológicas, se generó un archivo delimitado por comas (\*.CSV) que fungirá como una nueva tabla de atributos para la nueva capa de estaciones climatológicas representados por puntos con el nombre, coordenadas geográficas y la precipitación en milímetros (mm).



A partir del archivo CSV, se hizo la proyección en cuanto a la distribución de lluvia anual sobre la RH-30 mediante el proceso geostadístico de interpolación. Para ello, se optó la Interpolación de Distancia Inversa (IDW, por sus siglas en inglés), generando una capa ráster sobre el área de las estaciones que se muestra en la Figura 28 con un tamaño de 0.0083 (833 m) en cada píxel.



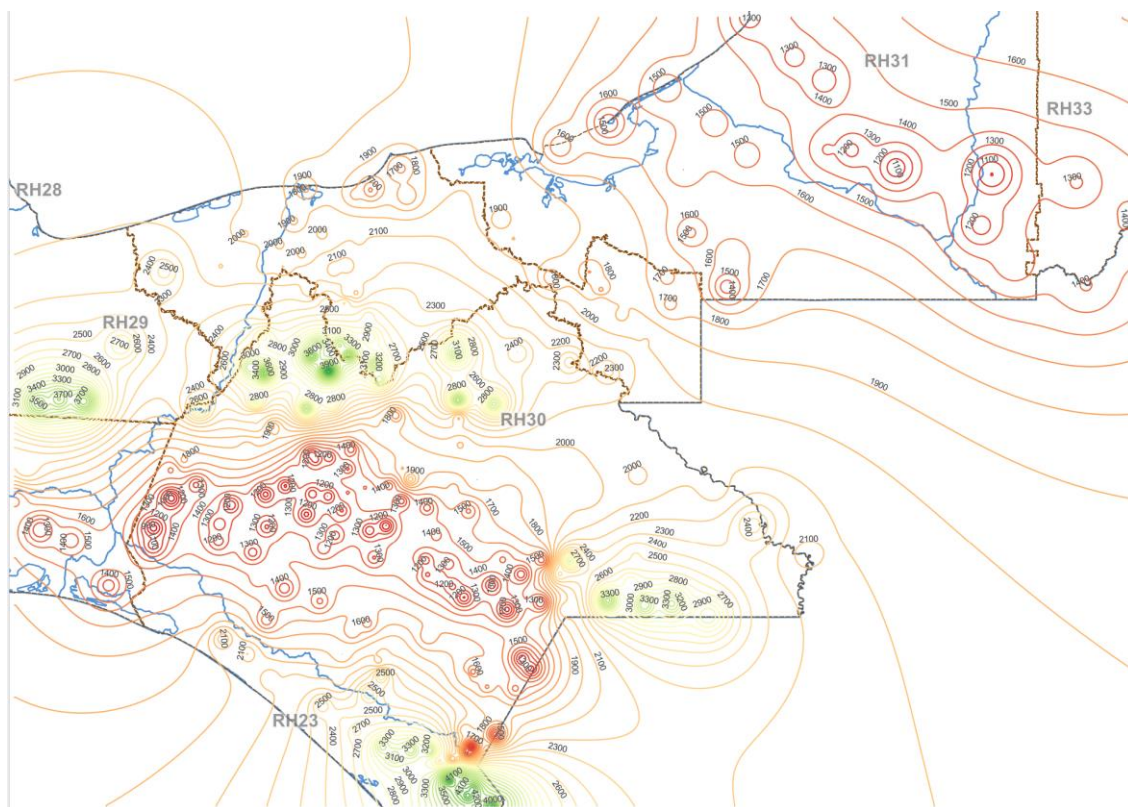
**Figura 28. Distribución de la precipitación media anual por interpolación IDW**

### 8.2.3 Estimación de la precipitación media anual a través de isoyetas

A partir de la capa de precipitación recién creado, se realizó una reclasificación del espectro de valores definiendo un intervalo equidistante de 100 milímetros, teniendo así 40 clases distintas que van desde los 800 a 4800 mm anuales. Una vez realizada la reclasificación, se extrajo los contornos y se generó el formato vectorial, en donde se incluyen las isoyetas (Figura 29).







**Figura 29. Isoyetas generadas a partir del raster de precipitación media anual**

Una vez generadas las isoyetas, se hizo una fusión con las cuencas de la RH-30 obteniendo así una nueva capa vectorial integrado por 1 118 polígonos. En la tabla de atributos (Figura 30), se asignó el promedio de las dos isoyetas limitantes su perímetro y el área en kilómetros cuadrados de cada polígono.

OBJECTID ▲	id_cuenca	nom_cuenca	Subregion	PP	Area
953	3,011	San Pedro	Grijalva-La Concordia	1,850	189.153000000000
954	3,011	San Pedro	Grijalva-La Concordia	1,750	204.052000000000
955	3,011	San Pedro	Grijalva-La Concordia	1,350	8.758410000000
956	3,011	San Pedro	Grijalva-La Concordia	1,450	70.058800000000
957	3,011	San Pedro	Grijalva-La Concordia	1,650	269.752000000000
958	3,011	San Pedro	Grijalva-La Concordia	1,550	228.606000000000
959	3,060	Chajul	Lacantún	3,050	15.631900000000
960	3,060	Chajul	Lacantún	2,950	0.0168849

**Figura 30. Tabla de atributos con los valores de precipitación y área (fragmento)**





Finalmente, se exportó la tabla de atributos a una hoja de cálculo a modo de una tabla dinámica, se calculó la suma de la precipitación y el área en cada cuenca ( $A_c$ ), dicha suma se estima mediante el promedio ponderado de la precipitación media anual ( $P$ ) empleando la ecuación 12, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 22.

**Cuadro 22. Valores  $A_c$  y  $P$  obtenidos en cada cuenca de la RH-30**

Cuenca	$A_c$	$P$	Cuenca	$A_c$	$P$	Cuenca	$A_c$	$P$
3001	534.9	1,623.0	3029	578.4	2,695.1	3057	638.0	1,604.6
3002	966.9	2,241.7	3030	387.3	2,722.1	3058	1,582.3	2,107.7
3003	587.6	2,160.0	3031	440.3	2,889.8	3059	15.4	2,966.9
3004	238.5	1,908.7	3032	694.3	2,558.0	3060	15.6	3,049.8
3005	608.1	1,959.8	3033	1,151.1	2,025.3	3061	2,023.4	2,086.0
3006	811.4	1,538.7	3034	231.7	1,992.6	3062	1,475.6	2,407.1
3007	1,032.1	1,758.4	3035	377.7	2,041.0	3063	386.1	2,637.3
3008	360.1	1,719.7	3036	686.4	2,071.7	3064	447.5	2,414.5
3009	2,250.0	1,382.3	3037	510.0	1,972.5	3065	262.9	2,526.4
3010	576.8	1,872.9	3038	416.4	2,307.1	3066	426.2	2,666.2
3011	1,050.9	1,690.8	3039	560.9	2,267.7	3067	604.1	2,235.8
3012	738.9	2,125.9	3040	993.9	2,335.6	3068	2,601.5	2,610.7
3013	3,267.5	1,631.7	3041	683.1	2,421.3	3069	2,113.4	1,874.3
3014	489.4	1,437.9	3042	1,493.2	1,903.2	3070	1,123.5	2,226.5
3015	382.1	1,236.1	3043	637.3	1,776.0	3071	971.9	2,112.4
3016	2,040.9	1,400.2	3044	1,697.4	2,564.8	3072	1,375.0	2,209.7
3017	2,061.6	1,507.3	3045	1,165.5	2,481.5	3073	6,829.8	2,050.0
3018	2,617.0	1,362.0	3046	1,045.0	2,340.9	3074	1,835.5	2,065.6
3019	956.1	1,758.7	3047	2,238.8	2,197.1	3075	1,269.4	1,931.0
3020	1,715.1	1,575.1	3048	504.2	2,775.5	3076	781.8	1,954.9
3021	1,298.2	1,294.8	3049	672.5	2,253.6	3077	1,001.4	1,917.3
3022	1,037.6	1,384.6	3050	1,074.7	2,940.1	3078	2,909.3	1,592.5
3023	302.6	1,723.2	3051	1,239.1	2,848.6	3079	1,155.6	1,591.8
3024	1,367.7	1,476.3	3052	639.9	2,250.6	3080	3,005.3	1,803.2
3025	599.4	1,617.4	3053	1,387.7	1,856.7	3081	1,196.1	1,938.1
3026	1,818.3	2,075.3	3054	2,446.3	1,774.8	3082	9,665.5	1,627.3
3027	251.5	2,613.6	3055	751.1	2,163.0	3083	1,474.8	1,699.1
3028	430.7	2,830.3	3056	785.8	1,514.4			





#### 8.1.4 Estimación de la precipitación media anual para el año 2034

A diferencia del proceso anterior que se hizo a partir de los registros de estaciones meteorológicas; para este caso, se realizó a partir de escenarios de cambio climático regionalizados para México y Centroamérica, en el marco del Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC).

La fuente de información se consultó en el Atlas y repositorio de escenarios de cambio climático regionalizados mensuales CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, que es el modelo climático global empleado), AR6, IPCC. Estos recursos se consultaron y se extrajeron en el sitio web de la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS).

Los escenarios de cambio climático utilizados para este trabajo de investigación son: RCP 4.5 y 8.5 de precipitación mensual para el horizonte cercano 2021-2040 (ICACC, 2022). La razón por la que se optaron tales escenarios se debe a los alcances del horizonte en donde encuentra el 2034, año que se tiene como meta en las prospectivas realizadas para el resto de las variables analizadas.

Puesto que se trata de escenarios mensuales, en el programa QGIS se elaboraron dos nuevos escenarios a partir de la suma de las 12 capas correspondientes de cada concentración de RCP con la ayuda de una calculadora ráster, teniendo como resultado dos nuevas capas ráster que representa la precipitación total anual para cada escenario.

A partir de dichas capas, se aplicó de igual forma el análisis pluviométrico por isoyetas explicado a lo largo del apartado anterior para la obtención de la precipitación





media anual de los escenarios RCP 4.5 ( $P_{4.5}$ ) y RCP 8.5 ( $P_{8.5}$ ) cuyos resultados se desglosan a nivel de cuenca en Cuadro 23.

**Cuadro 23. Valores  $P_{4.5}$  y  $P_{8.5}$  en  $Mm^3$  obtenidos en cada cuenca de la RH-30**

Cuenca	$P_{4.5}$	$P_{8.5}$	Cuenca	$P_{4.5}$	$P_{8.5}$	Cuenca	$P_{4.5}$	$P_{8.5}$
3001	1,201.0	1 167.5	3029	2,934.4	2,850.0	3057	1.343.1	1,300.7
3002	1,760.3	1 685.0	3030	3,359.0	3,226.9	3058	2.500.4	2,460.0
3003	1,517.2	1 460.3	3031	3,625.0	3,504.9	3059	3.361.6	3,284.3
3004	1,233.5	1 174.8	3032	2,799.9	2,677.9	3060	3.155.4	3,057.2
3005	1,889.6	1 800.7	3033	1,964.9	1,817.5	3061	2,538.3	2,490.7
3006	1,206.7	1 151.6	3034	1,934.0	1,792.1	3062	2,848.1	2,783.7
3007	1,508.7	1 455.1	3035	1,980.2	1,837.8	3063	2,948.3	2,874.8
3008	1,764.9	1 675.7	3036	1,929.4	1,796.6	3064	2,862.9	2,814.1
3009	1,110.5	1 027.8	3037	1,982.0	1,840.8	3065	2,910.0	2,866.2
3010	1,679.2	1 607.6	3038	2,523.4	2,452.4	3066	2,629.0	2,595.8
3011	1,485.1	1 402.6	3039	2,190.9	2,120.6	3067	2,123.4	2,098.8
3012	2,069.8	1 988.5	3040	2,344.7	2,281.8	3068	2,767.9	2,694.5
3013	1,323.9	1 235.1	3041	2,722.4	2,640.6	3069	1,823.0	1,722.4
3014	1,412.9	1 348.6	3042	1,819.4	1,763.3	3070	2,440.5	2,355.0
3015	1,033.7	963.3	3043	1,579.6	1,517.7	3071	2,374.1	2,336.1
3016	1,086.9	1 022.6	3044	2,797.5	2,699.4	3072	2,275.0	2,166.2
3017	1,233.4	1 162.8	3045	2,885.8	2,761.7	3073	2,100.9	1,995.7
3018	1,209.9	1 129.0	3046	2,434.1	2,359.4	3074	2,003.6	1,849.7
3019	1,721.1	1 650.3	3047	2,275.4	2,119.5	3075	1,801.0	1,653.3
3020	1,152.7	1 105.5	3048	3,168.3	3,023.4	3076	1,650.1	1,505.4
3021	955.4	899.4	3049	2,159.6	2,004.7	3077	1,640.0	1,504.2
3022	957.7	912.3	3050	3,210.7	3,093.5	3078	1,516.2	1,386.4
3023	1,353.2	1 262.8	3051	3,286.8	3,157.7	3079	1,546.9	1,412.3
3024	967.8	910.1	3052	2,454.4	2,318.3	3080	1,730.2	1,605.1
3025	1,073.2	993.4	3053	1,872.8	1,841.2	3081	1,503.6	1,364.7
3026	1,903.1	1 824.5	3054	1,693.5	1,660.5	3082	1,347.2	1,258.3
3027	2,448.8	2 354.7	3055	2,933.1	2,898.0	3083	1,670.3	1,539.1
3028	3,135.0	3 040.1	3056	1,249.1	1,199.9			





## **8.2 Determinación del volumen de escurrimientos por el método indirecto**

### *8.2.1 Creación de la capa integrada de edafología, vegetación y uso de suelo*

En este apartado, se hace una descripción acerca de la estimación del parámetro de permeabilidad ( $K$ ) del suelo, a partir de la información temática sobre el tipo de suelo dominante, y del tipo de vegetación predominante mostrado en los Cuadros 3 y 4.

Para ello, se hizo la consulta y la proyección de las tres fuentes geospaciales empleadas a través del programa QGIS 3.20.2: 1) Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000. Serie II, 2) Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie V (específicamente de la capa: tipo de vegetación), y 3) Datos Vectoriales de la disponibilidad de cuencas en escala 1:250 000.

Las primeras dos fuentes son proporcionadas por el portal digital del INEGI; mientras que la última, corresponden al SINA; misma, de donde se hizo la extracción de las 83 cuencas que forman parte de las RH-30, que fue empleado como base georreferencial para los siguientes procesos metodológicos.

Dado por las características de escalado de las fuentes temáticas de INEGI que no son compatibles con la escala absoluta que se maneja para la RH-30 (1:2 000 000), se hizo una identificación previa de las claves de aquellas cartas de referencia cartográfica que intersecan con las cuencas de la RH-30 serán empleadas, para posteriormente identificar y extraer la información vectorial acorde a la escala y cobertura de la RH-30.

Apoyándose con la cobertura vectorial del Índice de cartas 1:250 000 (obtenida del Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) de la



Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, conocido por sus siglas como CONABIO) se identificaron 13 claves cartográficas en 11 cartas, las cuales se pueden distinguir en la Figura 31.



**Figura 31. Claves y cartas cartográficas escala 1:250 000 sobre la zona de estudio**

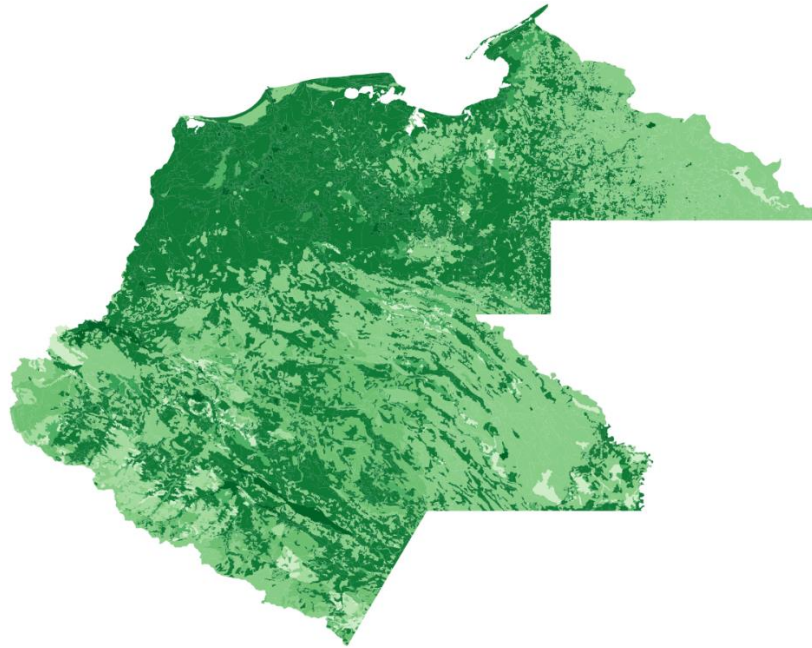
Ya con las claves cartográficas definidas, se hizo la extracción de las cartas edafológicas y de uso y manejo de suelo, en donde primero se unieron las cartas dentro de cada temática en una sola capa. Una vez conformadas las dos capas, primero se hizo el recorte de cada una de ellas de acuerdo con el perímetro externo del conjunto de cuencas de la RH-30.

Después, se hizo la combinación de las dos nuevas capas con dicho conjunto de cuencas. De esta manera, se integra en una sola capa vectorial, cuya tabla de atributos alberguen los campos: “id\_cuenca” (Clave de la cuenca), “GRUPO1” (Clave del grupo de suelo) y “CLAVE\_USV” (Clave del uso de suelo y vegetación).





Para fines más prácticos, se simplificaron los polígonos fusionando aquellos que reunían las mismas características, teniendo como resultado a la RH-30 formado por un conjunto de 2508 polígonos resultantes en la tabla de atributos de la capa integrada, cuyo resultado se puede apreciar en la Figura 32.



**Figura 32. Capa integrada con la información edáfica, vegetación y uso de suelo**

#### 8.2.2 Estimación del coeficiente de escurrimiento a partir del parámetro $K$

El siguiente paso consiste en designar los valores de  $K$  en cada polígono con base a las especificaciones de los Cuadros 3 y 4, sin embargo, la información contenida de ambos cuadros es muy limitada por lo que se hizo una adaptación de estos aspectos a partir de las claves del grupo de suelo y de vegetación predominantes.

En el Cuadro 24 se muestran los grupos de suelos existentes dentro de la RH-30; la asignación de la categoría del Cuadro 3, obedece con las propiedades y características de drenaje, infiltración y permeabilidad de cada grupo de suelo, acorde con el Anexo 1 de la Base Referencial Mundial para el Recurso Suelo (WRB, 2014), elaborado por la





Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas equivalentes en inglés: Food and Agriculture Organization).

**Cuadro 24. Adaptación del Cuadro 3 con los grupos de suelo en la RH-30**

Clave	Grupo de suelo	Grado de permeabilidad	Categoría
AC	Acrisol	Impermeable	C
AL	Alisol	Impermeable	C
AN	Andosol	Permeable	A
AR	Arenosol	Permeable	A
CH	Chernozen	Moderadamente permeable	B
CL	Calcisol	Impermeable	C
CM	Cambisol	Impermeable	C
FL	Fluvisol	Moderadamente permeable	B
FR	Ferralsol	Impermeable	C
GL	Gleysol	Impermeable	C
LP	Leptosol	Impermeable	C
LV	Luvisol	Impermeable	C
LX	Lixisol	Impermeable	C
NT	Nitisol	Moderadamente permeable	B
PH	Phaeozem	Impermeable	C
PL	Planosol	Impermeable	C
PT	Plinthosol	Impermeable	C
RG	Regosol	Moderadamente permeable	B
SC	Solonchak	Impermeable	C
UM	Umbrisol	Moderadamente permeable	B
VR	Vertisol	Impermeable	C

Fuente: DOF, 2015 y WRB, 2014

Para el caso de los diferentes tipos de vegetación presentes en la RH-30 que se muestran en el Cuadro 25, a través de las claves definidas por el INEGI. Se asignaron los valores del parámetro  $K$  del Cuadro 4 acorde con las similitudes en las características en torno al tipo uso de suelo y al porcentaje de cobertura vegetal de cada polígono resultante de la Figura 32.





**Cuadro 25. Adptación del Cuadro 4 con los tipos de vegetación en la RH-30**

Clave	Tipo de vegetación	A	B	C
ADV	Área desprovista de vegetación	0.26	0.28	0.30
DV	Sin vegetación aparente	0.26	0.28	0.30
IAPF	Información agrícola-pecuaria-forestal	0.24	0.27	0.30
VS	Sabana	0.14	0.20	0.28
VSI	Sabanoide	0.14	0.20	0.28
PH	Pastizal halófilo	0.20	0.24	0.30
PI	Pastizal inducido	0.20	0.24	0.30
VA	Popal	0.24	0.28	0.30
VHH	Vegetación halófila-hidrófila	0.24	0.28	0.30
VM	Manglar	0.24	0.28	0.30
VT	Tular	0.24	0.28	0.30
BM	Bosque mesófilo de montaña	0.07	0.16	0.24
SAP	Selva alta perennifolia	0.07	0.16	0.24
SAQ	Selva alta subperennifolia	0.07	0.16	0.24
SBP	Selva baja perennifolia	0.07	0.16	0.24
SBQ	Selva baja espinosa subperennifolia	0.07	0.16	0.24
SMP	Selva mediana perennifolia	0.07	0.16	0.24
SMQ	Selva mediana subperennifolia	0.07	0.16	0.24
BA	Bosque de oyamel	0.12	0.22	0.26
BB	Bosque de cedro	0.12	0.22	0.26
BP	Bosque de pino	0.12	0.22	0.26
BPQ	Bosque de pino-encino	0.12	0.22	0.26
BQ	Bosque de encino	0.12	0.22	0.26
BPQ	Bosque de encino-pino	0.12	0.22	0.26
SBC	Salva baja caducifolia	0.12	0.22	0.24
SMS	Selva mediana subcaducifolia	0.12	0.22	0.24
SG	Selva de galería	0.12	0.22	0.24
VG	Vegetación de galería	0.12	0.22	0.24
VPI	Palmar inducido	0.17	0.26	0.28
VPN	Palmar natural	0.17	0.26	0.28
AH	Asentamientos humanos	0.26	0.29	0.30
ZU	Zona urbana	0.27	0.30	0.33
H20	Cuerpo de agua	0.27	0.30	0.33

Elaboración propia a partir de: DOF, 2015





En la tabla de atributos de la capa integrada, primero se asignó la categoría del tipo de suelo (A, B o C) y después a el valor  $K$  al tipo de vegetación correspondiente. Después, se estimó el área de cada polígono en kilómetros cuadrados para posteriormente ser multiplicado por el valor de  $K$  recientemente asignado ( $K_A$ ). Parte de las asignaciones y los resultados generados se muestran en la Figura 33.

id_cuenca	nom_cuenca	GRUPO1	TIPO	CLAVE_USV	K	AREA	K_A
1828	3,058 Jatate	UM	B	IAPF	0.27	34.380000000	9.282600369
1829	3,058 Jatate	UM	B	SAP	0.16	60.240000000	9.638399785
1830	3,059 Ixcán	LP	C	IAPF	0.3	1.072654122	0.321796249
1831	3,059 Ixcán	LP	C	SAP	0.24	1.668999405	0.400559848
1832	3,059 Ixcán	LV	C	IAPF	0.3	2.108142648	0.63244282
1833	3,059 Ixcán	LV	C	SAP	0.24	0.656534406	0.157568254
1834	3,059 Ixcán	UM	B	AH	0.29	0.317906959	0.092193015
1835	3,059 Ixcán	UM	B	IAPF	0.27	9.095228150	2.455711698
1836	3,059 Ixcán	UM	B	SAP	0.16	0.485200204	0.077632031
1837	3,060 Chajul	LV	C	IAPF	0.3	7.273820791	2.182146324
1838	3,060 Chajul	LV	C	PI	0.3	2.710005618	0.813001718
1839	3,060 Chajul	LV	C	SAP	0.24	5.664921604	1.359581155
1840	3,061 Lacanjá	AC	C	AH	0.3	0.511740248	0.153522081

**Figura 33. Tabla de atributos de la capa integrada (fragmento).**

Por último, se exportó la tabla de atributos a una hoja de cálculo de Microsoft Excel; la cual, con la ayuda de una tabla dinámica se obtuvo la suma de los campos “AREA” Y “K\_A” por cada cuenca, cuyos resultados permiten estimar el valor medio ponderado del factor  $K$  a nivel de cuenca aplicando la Ecuación 12.

Con los valores del Cuadro 19 de área ( $A_c$ ) y la precipitación media anual ( $P$ ) de cada una de las cuencas de la RH-30 y a través de la Ecuación 11 (puesto que los valores de  $K$  son mayores de 0.15), se procedió con el cálculo del coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) cuyos resultados se muestran en el Cuadro 26, junto con los valores ponderados de  $K$  obtenidas en el párrafo anterior.



**Cuadro 26. Valores  $K$  y  $C_e$  obtenidos a partir de  $P$  a nivel de cuenca**

Cuenca	$K$	$C_e$	Cuenca	$K$	$C_e$	Cuenca	$K$	$C_e$
3001	0.28	0.28	3029	0.29	0.45	3057	0.28	0.27
3002	0.25	0.31	3030	0.29	0.46	3058	0.26	0.31
3003	0.26	0.33	3031	0.29	0.48	3059	0.27	0.44
3004	0.25	0.28	3032	0.30	0.44	3060	0.28	0.48
3005	0.26	0.29	3033	0.30	0.37	3061	0.25	0.30
3006	0.28	0.27	3034	0.30	0.36	3062	0.23	0.31
3007	0.26	0.27	3035	0.30	0.37	3063	0.25	0.37
3008	0.28	0.29	3036	0.30	0.37	3064	0.27	0.36
3009	0.28	0.25	3037	0.30	0.36	3065	0.25	0.36
3010	0.25	0.28	3038	0.25	0.33	3066	0.26	0.38
3011	0.25	0.25	3039	0.25	0.32	3067	0.26	0.34
3012	0.27	0.33	3040	0.26	0.35	3068	0.25	0.36
3013	0.28	0.28	3041	0.27	0.38	3069	0.29	0.32
3014	0.25	0.22	3042	0.27	0.31	3070	0.25	0.32
3015	0.27	0.22	3043	0.27	0.28	3071	0.26	0.31
3016	0.26	0.22	3044	0.27	0.40	3072	0.27	0.35
3017	0.26	0.23	3045	0.28	0.40	3073	0.28	0.34
3018	0.27	0.23	3046	0.26	0.35	3074	0.29	0.36
3019	0.26	0.26	3047	0.30	0.39	3075	0.29	0.33
3020	0.25	0.23	3048	0.29	0.46	3076	0.30	0.35
3021	0.26	0.21	3049	0.30	0.41	3077	0.27	0.31
3022	0.26	0.22	3050	0.29	0.48	3078	0.27	0.26
3023	0.25	0.25	3051	0.29	0.47	3079	0.27	0.26
3024	0.26	0.23	3052	0.30	0.40	3080	0.28	0.31
3025	0.27	0.26	3053	0.27	0.30	3081	0.30	0.35
3026	0.27	0.33	3054	0.27	0.29	3082	0.25	0.24
3027	0.27	0.40	3055	0.25	0.31	3083	0.27	0.28
3028	0.26	0.41	3056	0.28	0.27			

Respecto a las precipitaciones proyectadas para el año 2034 (partiendo del período 2021-2040), se hicieron los cálculos para determinar  $C_e$  (preservando el valor de  $K$ ) con las precipitaciones medias anuales de cada uno de los dos escenarios de cambio climático ( $P_{4.5}$  y  $P_{8.5}$ ) que se muestran en el siguiente cuadro:



**Cuadro 27. Valores de  $C_e$  obtenidos a partir de  $P_{4.5}$  y  $P_{8.5}$  a nivel de cuenca**

Cuenca	$C_{e 4.5}$	$C_{e 8.5}$	Cuenca	$C_{e 4.5}$	$C_{e 8.5}$	Cuenca	$C_{e 4.5}$	$C_{e 8.5}$
3001	0.22	0.22	3029	0.48	0.47	3057	0.24	0.23
3002	0.25	0.24	3030	0.55	0.53	3058	0.36	0.35
3003	0.24	0.24	3031	0.59	0.57	3059	0.50	0.49
3004	0.19	0.18	3032	0.48	0.46	3060	0.49	0.48
3005	0.29	0.27	3033	0.36	0.34	3061	0.35	0.35
3006	0.22	0.22	3034	0.35	0.33	3062	0.36	0.35
3007	0.24	0.23	3035	0.36	0.34	3063	0.41	0.40
3008	0.30	0.28	3036	0.35	0.33	3064	0.42	0.42
3009	0.21	0.20	3037	0.36	0.34	3065	0.41	0.40
3010	0.25	0.24	3038	0.36	0.35	3066	0.37	0.37
3011	0.23	0.22	3039	0.31	0.30	3067	0.32	0.32
3012	0.33	0.32	3040	0.35	0.34	3068	0.38	0.37
3013	0.24	0.22	3041	0.42	0.41	3069	0.32	0.30
3014	0.22	0.21	3042	0.30	0.29	3070	0.35	0.34
3015	0.19	0.18	3043	0.25	0.25	3071	0.34	0.34
3016	0.18	0.17	3044	0.43	0.41	3072	0.36	0.34
3017	0.20	0.19	3045	0.46	0.44	3073	0.35	0.33
3018	0.21	0.20	3046	0.37	0.36	3074	0.35	0.33
3019	0.26	0.25	3047	0.40	0.38	3075	0.31	0.29
3020	0.18	0.17	3048	0.51	0.49	3076	0.31	0.28
3021	0.17	0.16	3049	0.39	0.37	3077	0.27	0.25
3022	0.17	0.16	3050	0.52	0.50	3078	0.25	0.23
3023	0.20	0.19	3051	0.53	0.51	3079	0.25	0.24
3024	0.17	0.16	3052	0.43	0.41	3080	0.30	0.28
3025	0.19	0.18	3053	0.30	0.29	3081	0.29	0.27
3026	0.30	0.29	3054	0.28	0.27	3082	0.20	0.19
3027	0.38	0.36	3055	0.40	0.40	3083	0.28	0.26
3028	0.45	0.44	3056	0.23	0.22			

### 8.2.3 Estimación de los diferentes casos del volumen de escurrimiento

A partir de los valores de  $A_c$ ,  $P$  y  $C_e$ , se obtuvo el valor del volumen medio anual de escurrimientos superficiales ( $C_p$ ) aplicando la ecuación 8 que corresponde al método indirecto, estos valores expresados en  $Mm^3$  se desglosan en el Cuadro 28:





**Cuadro 28. Valores de  $C_p$  en sus diferentes condiciones a nivel de cuenca**

Cuenca	$C_p$	$C_{p4.5}$	$C_{p8.5}$	Cuenca	$C_p$	$C_{p4.5}$	$C_{p8.5}$
3001	242.27	141.29	134.42	3043	316.46	255.20	237.27
3002	669.31	424.83	391.54	3044	1,724.55	2,031.54	1,899.09
3003	416.99	217.16	202.57	3045	1,157.98	1,537.59	1,415.41
3004	125.53	56.18	51.44	3046	865.04	930.82	877.86
3005	350.55	327.53	299.52	3047	1,915.62	2,043.23	1,792.93
3006	336.91	218.35	201.10	3048	637.10	817.57	748.39
3007	494.21	373.09	349.30	3049	616.91	570.41	497.75
3008	179.38	188.09	171.08	3050	1,520.08	1,794.79	1,673.01
3009	774.13	525.86	459.64	3051	1,655.71	2,168.74	2,010.45
3010	298.58	243.81	224.96	3052	578.32	678.77	610.75
3011	447.95	352.67	317.62	3053	763.32	775.52	751.54
3012	524.23	498.77	463.04	3054	1,244.64	1,142.07	1,101.57
3013	1,494.20	1,025.94	906.96	3055	498.94	889.36	869.14
3014	154.35	149.46	137.29	3056	316.87	224.65	209.27
3015	102.47	74.76	66.12	3057	278.55	202.13	190.86
3016	636.02	403.44	362.15	3058	1,023.78	1,412.64	1,369.76
3017	723.79	502.75	452.26	3059	20.29	25.74	24.62
3018	835.78	676.56	598.67	3060	22.67	24.18	22.78
3019	444.00	426.55	394.73	3061	1,247.14	1,807.19	1,743.42
3020	626.60	354.30	328.66	3062	1,101.43	1,520.86	1,455.31
3021	361.11	210.75	189.72	3063	376.16	465.14	443.27
3022	319.90	165.81	152.31	3064	392.74	541.70	524.33
3023	130.25	83.40	73.52	3065	237.60	310.87	302.02
3024	471.80	221.55	198.98	3066	430.82	419.48	409.51
3025	250.55	119.80	104.58	3067	452.47	410.84	402.00
3026	1,232.65	1,049.93	971.27	3068	2,461.22	2,750.88	2,613.40
3027	261.46	231.30	214.91	3069	1,282.93	1,219.39	1,099.69
3028	501.91	609.73	575.03	3070	799.01	949.94	888.05
3029	695.69	816.20	772.58	3071	635.41	791.40	767.72
3030	484.01	719.03	666.49	3072	1,060.07	1,119.26	1,021.49
3031	608.82	934.66	876.67	3073	4,764.11	4,985.09	4,533.84
3032	788.74	933.81	859.21	3074	1,372.68	1,298.00	1,121.61
3033	857.18	810.99	703.76	3075	811.28	714.10	611.23
3034	166.74	157.94	137.51	3076	536.15	394.14	334.30
3035	285.13	269.74	235.48	3077	597.40	448.54	383.43
3036	521.17	457.54	401.81	3078	1,218.06	1,113.88	947.61
3037	360.11	363.31	317.60	3079	479.16	454.78	385.63
3038	315.90	374.24	354.52	3080	1,680.54	1,558.55	1,360.11
3039	408.86	383.26	360.44	3081	814.90	515.45	433.92
3040	815.17	821.16	780.34	3082	3,753.42	2,651.81	2,341.59
3041	625.70	779.94	134.42	3083	699.18	677.58	583.79
3042	879.41	809.51	391.54				





### 8.3 Análisis demográfico para el volumen de usos público-urbano y servicios

#### 8.3.1 Selección y distribución de las localidades en cada cuenca.

Con base en la información recabada en los tres últimos Censos de Población y Vivienda realizados por el INEGI (2000, 2010 y 2020), se hizo la consulta de los indicadores de identificación geográfica y la población total a través del Sistema de Consulta de Integración Territorial, Entorno Urbano y Localidad (SCITEL).

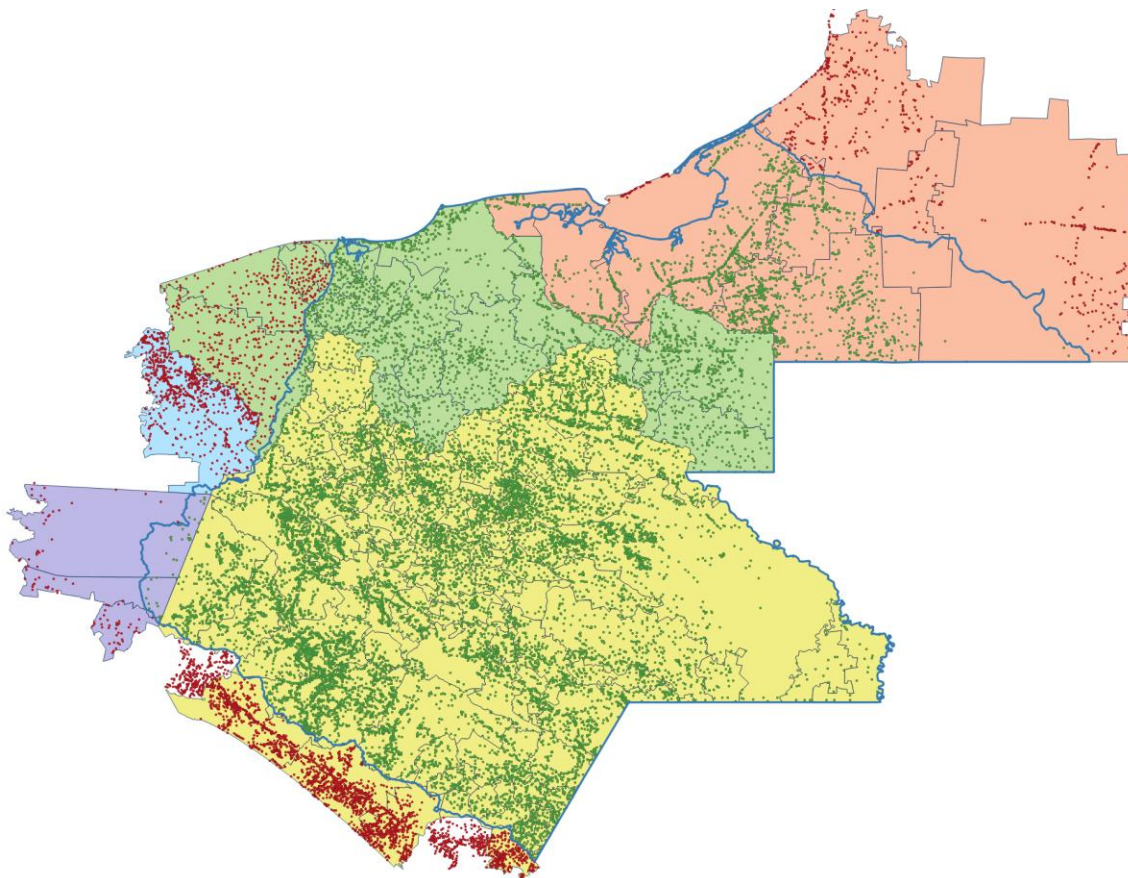
Dicha consulta se hizo para cada uno de los estados situados dentro de la RH-30, cuya información (Figura 34) fue exportada en hojas de cálculo. Para optimizar el volumen de información, se aplicó un filtro en la que se tomaron en cuenta aquellos municipios que se sitúan dentro de la RH-30 que se enlistan en el Cuadro 11, eliminando aquellas filas que no cuentan con las coordenadas geográficas de latitud y longitud.

Entidad federativa		Municipio o demarcación territorial		Localidad		Población total	Longitud	Latitud	Altitud
Clave	Nombre	Clave	Nombre	Clave	Nombre				
04	Campeche	003	Carmen	0000	Total del Municipio	248845	N/A	N/A	N/A
04	Campeche	003	Carmen	0001	Ciudad del Carmen	191238	91°50'11.220" W	18°38'16.042" N	0000
04	Campeche	003	Carmen	0005	Nuevo Progreso	5266	92°17'20.575" W	18°37'22.608" N	0001
04	Campeche	003	Carmen	0006	Atasta	2712	92°06'13.861" W	18°37'09.243" N	0000
04	Campeche	003	Carmen	0007	Santa Isabel	7	91°37'35.992" W	18°44'01.369" N	0005
04	Campeche	003	Carmen	0013	Puerto Rico	676	91°56'20.619" W	18°37'15.284" N	0001
04	Campeche	003	Carmen	0016	El Playaso	8	91°53'03.870" W	18°33'48.091" N	-004
04	Campeche	003	Carmen	0022	El Manatintero	5	91°30'52.019" W	18°19'00.037" N	0004
04	Campeche	003	Carmen	0027	El Astillero	5	91°33'11.113" W	18°18'43.255" N	0004
04	Campeche	003	Carmen	0031	Santa Rita	266	91°32'44.468" W	18°19'22.970" N	0004

**Figura 34. Consulta de la población total a nivel localidad (fragmento)**

La información resultante de cada censo se guardó bajo el formato CSV para posteriormente ser proyectado en el programa QGIS mostrando la distribución de las localidades en donde, se hizo la selección de las localidades situadas dentro de la RH-30 representadas por puntos de color verde (como se muestra en la Figura 35 para el año 2000); mientras que el resto de los puntos de color rojo fueron descartados.





**Figura 35. Distribución de las localidades en la RH-30 por municipio**

Una vez realizada la selección, se hizo la distribución de las localidades acorde a su ubicación dentro del parteaguas de las 83 cuencas de la RH-30 a través del proceso vectorial de intersección, formando así una nueva capa cuya tabla de atributos fue exportada a una nueva hoja de cálculo para crear una base de datos poblacionales.

### *8.3.2 Estimación del volumen para los sectores público-urbano y servicios.*

En la base de datos, se hizo la determinación del volumen que representa a los usos doméstico y público-urbano mediante la asignación de una dotación media anual por habitante. Para ello, se hizo una distinción entre localidades rurales y urbanas; de acuerdo con INEGI, una población es rural cuando se tiene menos de 2 500 habitantes, mientras que la urbana es aquella donde viven 2 500 personas o más (INEGI, 2022).





En las localidades consideradas como rurales, se consideró el consumo óptimo de 100 litros por persona al día (36.5 m<sup>3</sup> por habitante al año) cantidad recomendada de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (CONAP, 2019).

Es importante señalar que es una medida de referencia puesto que, en el entorno real existen lugares que cuentan con servicios limitados al agua potable, la marginación y la distancia a las fuentes de abastecimiento de aguas superficiales como arroyos, lagos y manantiales para su uso diario tanto en las zonas rurales como urbanas.

Para el caso de las poblaciones urbanas, se consultó en la plataforma web del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO, 2022) la dotación media entre los años 2002 a 2018 en seis principales ciudades (Ciudad del Carmen, Comitán de Domínguez, Palenque, San Cristóbal de las Casas, Tuxtla Gutiérrez y Villahermosa).

Las dotaciones fueron promediadas y aplicadas para las cinco subregiones hidrológicas existente, de acuerdo con la ubicación de las ciudades consultadas dentro de la cuenca y, por ende, la subregión correspondiente; o bien de otra cuenca más cercana en caso de que no tenga al menos dos ciudades en cada subregión, cuyos valores estimados se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 29. Dotación media urbana para cada subregión hidrológica**

Clave	Subregión Hidrológica	Dotación media diaria (L/habitante/día)	Dotación media anual (m3/habitante/año)
I	Grijalva-La Concordia	289.683	105.73
II	Grijalva-Tuxtla Gutiérrez	227.909	83.19
III	Grijalva-Villahermosa	244.280	89.16
VI	Lacantún	282.466	103.10
V	Usumacinta-Laguna de Términos	232.748	84.95







Ya definida la dotación de cada localidad considerada como rural o urbano, se multiplicó por el número de habitantes correspondiente, cuyo resultado constituye en conjunto al volumen empleado para los usos consuntivos doméstico y público-urbano, dichos volúmenes fueron expresados en millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>).

Derivado de los volúmenes anteriores, se estimó un porcentaje adicional que representa a los usos destinados al sector de servicios en general (escuelas, hospitales, comercios, edificios públicos y administrativos, áreas recreativas, etc.) cuyo margen varía acorde al tamaño de la localidad.

Para ello, se realizó una categorización las localidades (Cuadro 30), tomando como referencia los rangos de tamaño de localidad, del Seminario-taller “Información para la toma de decisiones: Población y Medio Ambiente” (Cervera y Rangel, 2015). Cada categoría, se le dio una denominación coloquial para una mejor identificación, así como el porcentaje propuesto para el sector servicios.

**Cuadro 30. Categorías asignadas para las localidades dentro de la RH-30**

Margen de población	Tipo de localidad	Denominación coloquial	Porcentaje volumétrico para el sector servicios
249 o menos	Rural	Caserío	0
250 - 499	Rural	Aldea	1
500 - 999	Rural	Ranchería	2
1,000 - 2,499	Rural	Pueblo Rural	3
2,500 - 4,999	Semiurbano	Pueblo Urbano	5
5,000 - 9,999	Semiurbano	Comarca	8
10,000 - 19,999	Semiurbano	Villa	10
20,000 - 49,999	Urbano	Ciudad	12
50,000 - 99,999	Urbano	Pequeña urbe	15
100,000 - 249,999	Urbano	Gran urbe	25
250,000 o más	Urbano	Metrópoli	30

Adaptación hecha a partir de: Cervera y Rangel (2015)





Por último, se determinó el volumen total para los usos público-urbano y servicios para los años 2000, 2010 y 2020 (correspondiente al año en que se llevó a cabo el Censo Nacional de Población) por cada cuenca de la RH-30. Esto se hizo sumar en torno a la cantidad de localidades situadas dentro del parteaguas correspondiente a través de tablas dinámicas.

Dado que sólo se cuenta información para sólo tres años, se hizo una estimación los volúmenes totales de ambos sectores para los años intermedios entre los censos realizados usando el método de mínimos cuadrados, del cual se construyeron dos tendencias lineales entre los años 2000-2010 y 2010-2020.

La razón en que se hizo de esta manera este análisis se debe en que en los títulos de concesión destinados para el uso público-urbano en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA) hace referencia a la capacidad operativa de extracción los organismos que proporcionan el servicio de agua potable, mas no se tiene un volumen más preciso que muestre la evolución del consumo real de sus usuarios.

Además; es importante tomar en cuenta que, este tipo de concesiones obedecen en materia reglamentaria de los organismos operadores cuyo alcance se concentra en zonas urbanizadas o con mayor acceso al vital líquido, que en términos reales estas condiciones no son homogéneas no sólo en la RH-30 sino que también en todo el país.

Estos aspectos, no se contemplan en gran parte de los aprovechamientos realizados en zonas rurales y marginadas para uso doméstico (a excepción de algunos particulares que declaran este tipo de uso) que no cuentan con los medios ni con la organización para determinar un volumen de extracción definido.





## 8.4 Determinación del volumen de extracciones y retornos por uso consuntivo.

### 8.4.1 Recopilación de los títulos de aguas nacionales en el REPDA

Inicialmente, se construyó de una base datos en la que se hizo una compilación de las concesiones de aguas nacionales otorgados por la CONAGUA en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA, 2021), tomando en cuenta los aprovechamientos superficiales dentro de la RH-30 a partir del año 1994 hasta el 2020.

En cada título de concesión, se consultó el titular, folio, uso (a excepción de los usos doméstico y público-urbano dado que previamente fueron asignados en el apartado anterior) y fecha de registro de cada título; así como la información completa cada anexo superficial. Toda esta información fue incorporada a la base de datos constituida por un compendio de 5 261 títulos registrados (Figura 36).

Titular/DDR	Uso (REPDA)	Año	Cuenca	Volumen (m3/año)	Volumen (Mm3/año)
C. JOSE ANTONIO NAJERA DOMINGUEZ	AGRICOLA	1994	3002	55,296	0.055
C. JORGE FCO. PIÑEIRO MALDONADO	AGRICOLA	1994	3007	38,800	0.039
C. VICTOR MANUEL GUIZAR RUIZ	AGRICOLA	1994	3008	174,182	0.174
GRUPO PARAJE PAJALPIT	AGRICOLA	1994	3009	798,336	0.798
U. DE R. GRUPO PASO NANTZE ASOCIACION CIVIL	AGRICOLA	1994	3009	2,339,375	2.339
S. C. UNIDAD DE RIEGO SAN ISIDRO	AGRICOLA	1994	3009	943,540	0.944
UNIDAD DE RIEGO LA PESQUERIA	AGRICOLA	1994	3013	2,612,736	2.613
C. JOSE ANTONIO GUILLÉN ARGIELLO	AGRICOLA	1994	3013	30,240	0.030
C. CARMEN GORDILLO ABADIA	AGRICOLA	1994	3013	30,240	0.030
S.S.S. UNIDAD DE SISTEMA DE RIEGO NIO	AGRICOLA	1994	3014	81,000	0.081
SOCIEDAD COOPERATIVA AGROPECUARIA UNIDAD	AGRICOLA	1994	3015	518,400	0.518
C. JESUS RUDI LOPEZ SILVA	AGRICOLA	1994	3016	260,064	0.260
C. INOCENCIO ACERO GRAJALES	AGRICOLA	1994	3016	2,592	0.003
ERNESTO QUINTERO NUÑEZ	AGRICOLA	1994	3016	432	0.000
C. RAUL MORENO CORDOVA	AGRICOLA	1994	3017	129,600	0.130
SISTEMA DE RIEGO GUADALUPE VICTORIA	AGRICOLA	1994	3017	642,816	0.643
UNIDAD DE RIEGO LA NORIA, A.C.	AGRICOLA	1994	3017	2,216,160	2.216
C. PEDRO ALFONSO ZENTENO ZENTENO	AGRICOLA	1994	3017	15,552	0.016
U. DE R. LOS HORMIGUEROS	AGRICOLA	1994	3018	181,440	0.181
U. DE R. LOS HORMIGUEROS	AGRICOLA	1994	3018	326,592	0.327
UNIDAD DE RIEGO LAS COLMENAS DE NANDAYUSEN A.C.	AGRICOLA	1994	3018	508,032	0.508

**Figura 36. Títulos de aprovechamiento superficial (fragmento).**

Es importante mencionar que se hizo una modificación en cuanto a la nomenclatura de las cuencas en donde se sustituyeron las claves de 608 a 690 por la de





3001 a 30083, esto se hizo con la finalidad de homogenizar las denominaciones con las otras bases de datos.

A través de tablas dinámicas, se estimó una primera sumatoria del volumen concesionado expresado en  $Mm^3$  en función al tipo de uso y al año vigente declarado. De manera general, identificaron ocho tipos de uso: acuacultura, agrícola, diferentes usos, generación de energía eléctrica, industrial, pecuario y servicios. Después, se hizo una segunda sumatoria de los volúmenes de manera acumulativa a media que se avanza año con año hasta el 2020.

Si bien, en el REPDA existe un apartado en la que se pueden consultar los títulos nacionales otorgados a distritos de riego, cuyas concesiones se tratan de agua superficial. Sin embargo, la información que proporciona obedece a un volumen fijo concesionado y esto no siempre se emplea en su totalidad puesto que la capacidad de las presas son variables a través del tiempo, de igual forma repercute con la superficie y el volumen regado en las Estadísticas de los Distritos de riego, cuya información es más puntual y precisa en términos reales de consumo.

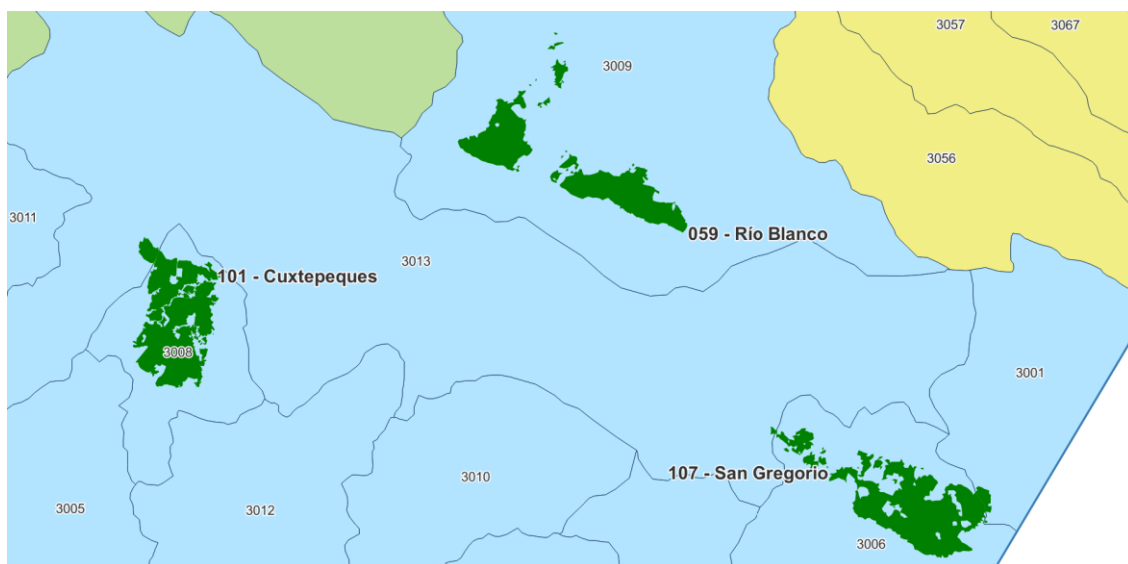
A razón de ello, se realizó una metodología adicional con lo realizado anteriormente, misma que se detalla en la siguiente sección.

#### *8.4.2 Análisis y distribución del volumen regado en los DR a nivel de cuenca*

Para un primer acercamiento, en el apartado de Distritos y unidades de riego en el portal del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), se exportó al programa QGIS la capa shapefile de Datos Vectoriales de los distritos de riego a nivel nacional en escala 1:250 000.



Dentro de la RH-30 se identificaron los polígonos de tres Distritos de Riego (DDR): 059 Río Blanco, 101 Cuxtepeques y 107 San Gregorio cuyas delimitaciones abarcan a cinco cuencas (Figura 37), todas ellas situadas dentro de la Subregión Hidrológica I Grijalva-La Concordia.



**Figura 37. Distribución de los Distritos de Riego dentro de la RH-30**

Después, se hizo la distribución superficial de cada DR entre las cinco cuencas hidrológicas sobre puestas, los valores expresados tanto en kilómetros cuadrados como su representación porcentual se desglosan en el siguiente cuadro:

**Cuadro 31. Distribución superficial de los Distritos de Riego a nivel de cuenca**

Cuenca	059 Río Blanco		101 Cuxtepeques		107 San Gregorio	
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
3001 Lagartero	-	-	-	-	3.43	2.86
3006 Selegua	-	-	-	-	116.13	96.80
3008 La Concordia	-	-	101.73	95.42	-	-
3009 Aguacatenco	101.98	100.00	-	-	-	-
3013 Presa La Angostura	-	-	4.88	4.58	0.41	0.34
<b>Total</b>	<b>101.98</b>	<b>100.00</b>	<b>106.61</b>	<b>100.00</b>	<b>119.97</b>	<b>100.00</b>





A partir de la identificación de los tres DDR, en una hoja de cálculo se recabó el volumen distribuido que fue regado a lo largo del inicio de cada año agrícola. Esta información fue proporcionada por la base de datos de Superficies regadas y volúmenes distribuidos por distritos de riego 1998-2020, se trata de un compendio elaborado a partir de las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego (CONAGUA, 2022b).

Del volumen total regado anual, se distribuyó de acuerdo con los porcentajes de cobertura superficial del Cuadro 28 en cada cuenca, suponiendo que toda esa cantidad fue empleada de manera uniforme en toda la superficie de cada DDR. Estos nuevos volúmenes repartidos se anexaron con los demás usos consuntivos recabados a partir del REPDA bajo la categoría de 'Riego' para su distinción en la base de datos.

#### *8.4.3 Estimación y proyección del volumen de extracciones y de retornos*

En una nueva base de datos, se hizo la compilación y organización de los volúmenes de extracción anual de cada uno de los siguientes usos: acuacultura, agrícola, diferentes usos, energía eléctrica, industrial, pecuario y servicios a nivel de cuenca, Los usos público-urbano y doméstico no se incluyeron puesto que fueron sustituidas por un análisis de consumo a partir de una dotación regionalizadas y otros aspectos fueron abordados en los primeros 3 anexos.

A partir de dicha base de datos, se recabaron los volúmenes de extracción de casa cuenca y se anexaron los mismos indicadores de volumen de las dos últimas bases de datos elaborados previamente: 1) Dotación de agua por localidad, 2) Compendio de títulos consultados en el REPDA y, 3) Volumen de riego proporcionado por las estadísticas de los DDR.





Dado que cada fuente de información contempla diferentes periodos de tiempo, se definió un escenario base que contempla los registros generados entre los años 2000 a 2020. De esta manera se busca homogenizar y facilitar el procesamiento de toda la información tanto de manera temporal con un margen de 20 años, como de manera espacial entre las 83 cuencas de la RH-30.

Ya con la información recabada y agrupada para cada cuenca, se hizo un pronóstico lineal mediante regresión lineal de los volúmenes de cada rubro extrapolando la línea temporal a partir del 2021 hasta llegar al año meta de 2034. En la Figura 38 se muestra parte de las perspectivas realizadas.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
3013 ACUACULTURA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3013 AGRICOLA	17.9	20.4	21.1	23.6	24.7	24.7	23.1	23.9	24.7	25.4	26.2	26.9	27.7	28.4	29.2	29.9	30.7	31.5	32.2	33.0
3013 DIFERENTES USOS	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
3013 ENERGÍA ELÉCTRICA	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2	9,302.2
3013 PECUARIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3013 RIEGO	3.3	3.2	3.3	3.5	3.5	3.5	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
3013 SERVICIOS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3013 PÚBLICO-URBANO	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0
3013 SERVICIOS (GENERALES)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3014 ACUACULTURA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3014 AGRICOLA	3.0	3.0	3.2	3.2	3.5	3.5	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0
3014 PÚBLICO-URBANO	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.5	4.6	4.6	4.7
3014 SERVICIOS (GENERALES)	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3015 AGRICOLA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1
3015 DIFERENTES USOS	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3015 INDUSTRIAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3015 PECUARIO	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3015 SERVICIOS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3015 PÚBLICO-URBANO	52.3	52.9	53.5	54.0	54.6	55.2	57.2	58.1	58.9	59.7	60.6	61.4	62.2	63.1	63.9	64.7	65.6	66.4	67.2	68.1
3015 SERVICIOS (GENERALES)	14.4	14.6	14.7	14.8	14.9	15.1	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.7	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2	18.4

**Figura 38. Volúmenes proyectados por uso al 2034 en cada cuenca (fragmento)**

A partir del volumen de extracción a lo largo de todo el período contemplado, se hizo la determinación del volumen de retornos. Los cuales, se basaron de acuerdo con las especificaciones del Cuadro 5; sin embargo, algunos usos no se encuentran especificados (riego, diferentes usos y servicios) por lo que se propusieron nuevos porcentajes de retornos, tal y como se muestran en el siguiente cuadro:



**Cuadro 32. Porcentaje de retornos aplicados para cada uso consuntivo**

Uso consuntivo	Base de datos procedente	Porcentaje de retornos
Riego*	Estadísticas de los DDR	20
Agrícola	Compendio REPDA	20
Pecuario	Compendio REPDA	15
Acuacultura	Compendio REPDA	100
Generación de energía eléctrica	Compendio REPDA	100
Diferentes usos*	Compendio REPDA	50
Industrial	Compendio REPDA	55
Servicios*	Compendio REPDA	75
Público-urbano	Dotaciones por localidad	75
Servicios (generales)*	Dotaciones por localidad	75

Finalmente, se realizaron dos sumas de cada uso por cuenca: una para estimar el volumen de extracciones inscritos ( $U_{ca}$ ) y la segunda, correspondiente al volumen de retornos ( $R_e$ ). En el Cuadros 33 y 34, en donde se muestran los valores de ambos rubros para los años 2020 y 2034 respectivamente.





**Cuadro 33. Valores de  $U_{ca}$  y  $R_e$  estimados en el año 2020 a nivel de cuenca**

Cuenca	$U_{ca}$	$R_e$	Cuenca	$U_{ca}$	$R_e$
3001	6.65	1.86	3043	6.16	4.50
3002	4.38	1.55	3044	4.41	2.88
3003	3.04	1.44	3045	6.23	4.67
3004	2.88	1.34	3046	6.81	5.12
3005	2.08	0.58	3047	21.81	8.81
3006	76.86	17.55	3048	1.87	1.40
3007	13.93	8.40	3049	3.48	2.63
3008	70.50	14.76	3050	23.13	9.37
3009	157.42	41.04	3051	11.72	7.93
3010	0.65	0.32	3052	9.02	5.87
3011	15.07	4.79	3053	11.38	7.88
3012	6.73	6.00	3054	7.08	4.40
3013	9,333.92	9,310.32	3055	0.61	0.46
3014	7.48	3.70	3056	30.81	16.86
3015	71.49	52.97	3057	13.00	5.11
3016	26.90	9.20	3058	2.46	1.62
3017	28.76	10.61	3059	0.03	0.02
3018	11,625.32	11,578.14	3060	0.00	0.00
3019	6.86	4.76	3061	2.09	1.56
3020	0.71	0.30	3062	0.03	0.02
3021	21.34	8.05	3063	0.29	0.13
3022	6.02	1.78	3064	0.46	0.35
3023	10,944.96	10,943.47	3065	0.32	0.24
3024	10.87	4.93	3066	0.53	0.39
3025	5.19	1.77	3067	1.90	1.06
3026	10,946.08	10,944.34	3068	4.37	1.97
3027	19.73	19.49	3069	5.76	1.98
3028	0.75	0.56	3070	4.27	1.67
3029	15,452.53	15,452.05	3071	1.34	1.00
3030	1.59	0.92	3072	11.95	5.69
3031	0.61	0.35	3073	127.37	34.99
3032	46.53	24.49	3074	48.26	36.08
3033	17.66	12.91	3075	986.42	148.36
3034	0.01	0.01	3076	0.10	0.08
3035	16.63	12.46	3077	57.99	27.47
3036	16.98	12.20	3078	26.08	19.56
3037	16.83	12.08	3079	4.82	1.64
3038	0.93	0.70	3080	2.48	0.79
3039	1.29	0.96	3081	0.79	0.57
3040	10.17	7.61	3082	4.91	2.44
3041	2.61	1.95	3083	209.20	42.37
3042	12.71	9.37			



**Cuadro 34. Valores de  $U_{ca}$  y  $R_e$  estimados para el año 2034 a nivel de cuenca**

Cuenca	$U_{ca}$	$R_e$	Cuenca	$U_{ca}$	$R_e$
3001	7.83	2.25	3043	8.01	5.85
3002	6.50	2.21	3044	5.39	3.43
3003	4.70	1.98	3045	7.11	5.32
3004	3.12	1.53	3046	8.74	6.56
3005	2.75	0.75	3047	32.36	12.41
3006	51.78	12.92	3048	2.06	1.55
3007	18.52	10.72	3049	4.09	3.12
3008	60.93	13.07	3050	30.90	11.91
3009	156.31	43.04	3051	16.34	10.94
3010	1.07	0.47	3052	11.48	7.51
3011	22.54	6.56	3053	15.48	10.60
3012	8.71	7.72	3054	9.15	5.67
3013	9 342.03	9 312.11	3055	0.85	0.64
3014	8.95	4.53	3056	42.15	22.38
3015	87.94	65.22	3057	17.37	6.78
3016	34.63	11.62	3058	3.19	2.04
3017	32.90	12.45	3059	0.03	0.02
3018	12 174.31	12 111.33	3060	0.00	0.00
3019	8.79	6.13	3061	2.66	2.00
3020	0.94	0.36	3062	0.06	0.05
3021	25.31	9.79	3063	0.50	0.19
3022	7.05	2.07	3064	0.58	0.43
3023	20 361.97	20 360.42	3065	0.43	0.32
3024	13.71	6.26	3066	0.63	0.47
3025	8.14	2.51	3067	2.73	1.43
3026	20 364.05	20 361.49	3068	7.09	2.78
3027	36.05	35.77	3069	8.78	2.61
3028	0.84	0.63	3070	7.05	2.45
3029	15 453.07	15 452.25	3071	1.58	1.18
3030	2.07	1.06	3072	17.36	7.73
3031	0.77	0.37	3073	135.93	40.65
3032	91.67	48.74	3074	53.12	39.64
3033	23.28	16.90	3075	2 222.91	333.88
3034	0.00	0.00	3076	0.11	0.08
3035	19.74	14.79	3077	58.37	27.55
3036	23.20	16.83	3078	32.41	24.31
3037	20.50	14.62	3079	8.15	2.64
3038	1.09	0.82	3080	2.98	0.89
3039	1.71	1.27	3081	1.04	0.76
3040	12.99	9.72	3082	6.73	3.04
3041	3.29	2.46	3083	271.40	54.98
3042	16.23	12.00			

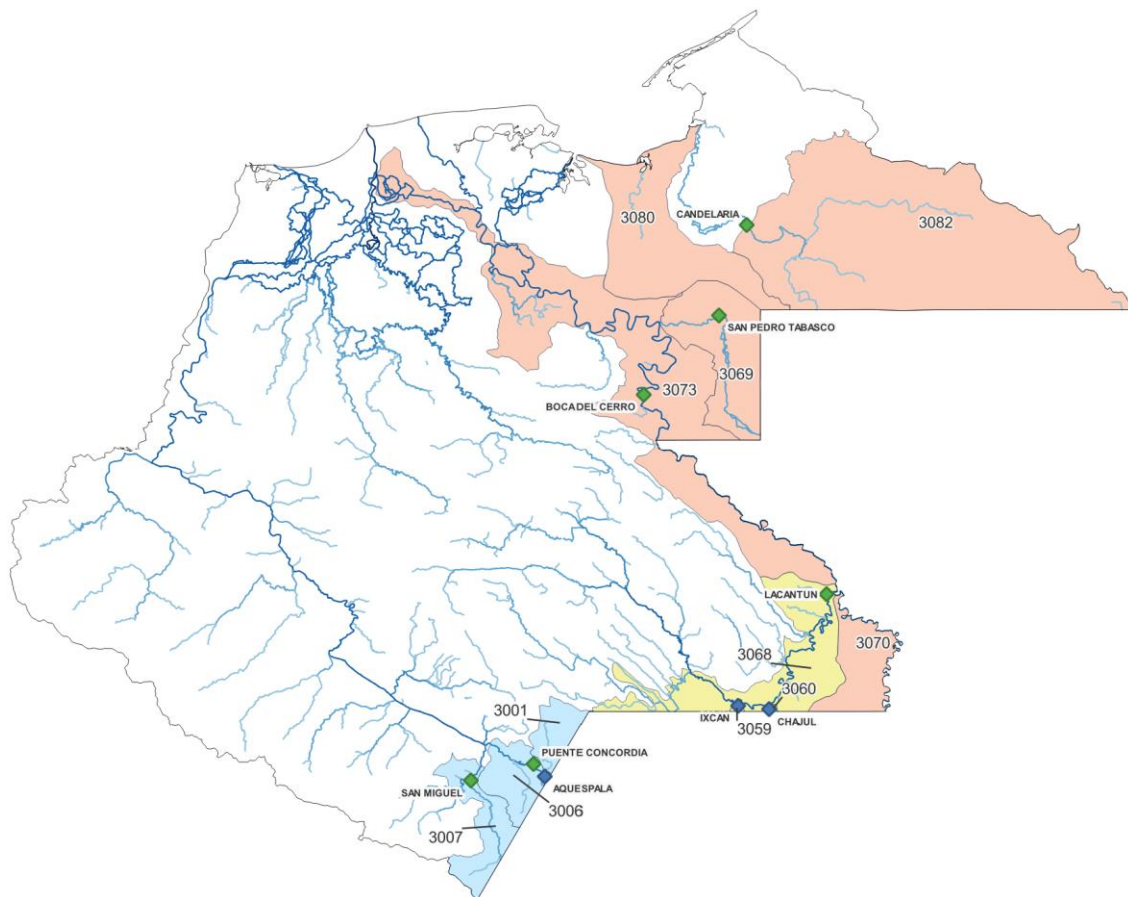


## 8.5 Determinación del volumen de otras derivaciones.

### 8.5.1 Estimación del volumen de exportaciones e importaciones

Dado que, una parte de los ríos Candelaria, Grijalva y Usumacinta nacen en la República de Guatemala y una pequeña porción en Belice, cuyos escurrimientos superficiales atraviesan la frontera mexicana incorporándose en su totalidad hacia aguas abajo con nuestro país en 9 de 10 cuencas transfronterizas.

Para ello, se recurrió a través de los registros del gasto recabadas en las estaciones hidrométricas situadas en las aproximaciones de los ríos transfronterizos. Para este cometido, se hizo la identificación de las diez estaciones hidrométricas con los registros de gasto diario para el periodo 1961-2020 (Figura 39).



**Figura 39. Localización de las estaciones hidrométricas fronterizas en la RH-30**





La información hidrométrica fue consultada en el Sistema de Información Hidrológica (SIH, 2022). Con la ayuda de tablas dinámicas se calculó la sumatoria mensual y el acumulado anual; puesto que, las unidades reportadas están a modo de metros cúbicos por segundo, se hizo la conversión a millones de metros cúbicos al día.

Si bien, el modo de organización y análisis de los registros diarios para la estimación del volumen medio anual de escurrimientos se hizo de la misma forma con la información para la estimación de la precipitación media anual (para más información, consultar el apartado 8.1.2 de este documento), cuyos valores se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 35. Especificaciones de las diez estaciones hidrométricas fronterizas**

Clave	Estación hidrométrica (EH)	Cuenca	EH aguas abajo	Años efectivos	Vol. medio anual (Mm <sup>3</sup> )
B30019	Boca del Cerro	3073 - Usumacinta	-	59	62,035.21
B30088	San Pedro Tabasco	3069 - San Pedro	-	41	2,105.36
B30095	El Tigre	3073 - Usumacinta	B30019	26	56,341.93
B30102	Aquespala	3001 – Lagartero	B30133	20	1,074.46
B30113	Ixcán	3059 - Ixcán	B30184	27	6,497.75
B30120	Chajul	3060 - Chajul	B30184	26	3,155.71
B30133	Puente Concordia	3006 - Selegua	-	52	2,267.57
B30177	Candelaria	3082 - Alto Candelaria	-	33	2,779.92
B30184	Lacantún	3068 - Lacantún	B3095	32	22,541.74
B30207	San Miguel	3007 - San Miguel	-	35	3,241.83

A partir del volumen medio anual de cada estación ( $A_{b(EH)}$ ), se sustrajo el volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo ( $A_b$ ) de la cuenca correspondiente, conservando así el volumen neto de importaciones en proporción al porcentaje de contribución tanto del volumen de las estaciones hidrométricas como del escurrimiento de cuencas situadas aguas arriba en ambos casos.





En el siguiente cuadro, se muestra la composición de las estaciones hidrométricas en siete ríos principales cuyos nacimientos provienen desde Guatemala, así como la distribución del volumen de importaciones de cada uno de los dichos ríos de acuerdo con la cuenca o cuencas fronterizas correspondientes.

**Cuadro 36. Distribución del volumen de importaciones por cuenca fronteriza**

Cuenca	EH	$A_{b(EH)}$	$A_b$	% $I_m$	$I_m$ (Mm <sup>3</sup> )
<b>Río San Gregorio (SRH Grijalva-La Concordia)</b>					
3001	B30102	1,074.46	237.48	47.67	836.98
3006 (20%)	B30133 – B30102	1,193.11	54.88	52.33	918.69
<b>Total</b>	B30133	2,267.57	511.90	100.00	1,755.67
<b>Río San Miguel (SRH Grijalva-La Concordia)</b>					
3007	B30207	3,241.83	1,687.57	100.00	1,554.26
<b>Río Lacantún (SRH Lacantún)</b>					
3059	B30113	6,497.75	20.26	13.39	6,435.33
3060	B30120	3,155.71	22.67	6.49	3,117.50
3068	B30184 - (B30113 + B30120)	12,888.25	10,161.03	5.79	2,784.94
<b>Subtotal</b>	B30184	22,541.74	10,203.96	25.67	12,337.77
<b>Río Usumacinta (SRH Usumacinta-Laguna de Términos)</b>					
3070	B30184 - B30095	33,800.19	794.90	68.66	33,005.29
3073 (50%)	B30095 - B30019	5,693.28	2,966.79*	5.67	2,726.49
<b>Total</b>	B30019	62,035.21	13,965.65	100.00	48,069.55
<b>Río San Pedro (SRH Usumacinta-Laguna de Términos)</b>					
3063 (50%)	B30088	2,105.36	639.42	100.00	1,465.94
<b>Río Candelaria (SRH Usumacinta-Laguna de Términos)</b>					
3082	B30177	2,779.92	2,100.99	100.00	678.93

\* Se adicionan 635.41 Mm<sup>3</sup> de la cuenca 3071 Chocaljah, puesto que se ubica aguas arriba de la estación B30019

A pesar de que se podía hacer un pronóstico lineal para el año 2034 y estimar el volumen de importaciones para los dos escenarios futuros de disponibilidad (RCP 4.5 y RCP 8.5), se emplearon los mismos volúmenes actuales puesto que las perspectivas no están sujetas implícitamente con los dos escenarios de cambio climático y, por ende. Los volúmenes de importaciones se consideran como valores de referencia.



### 8.5.2 Estimación del volumen de mermas derivados de embalses

De la ecuación 2, existen dos variables que hacen referencia a los cuerpos de agua en general: 1) volumen de evaporación anual en embalses y cuerpos de agua ( $E_v$ ) y 2) volumen de variación media anual de almacenamiento en embalses ( $A_v$ ). Para este trabajo, solamente se hace consideración de  $E_v$ , puesto que la segunda no se contaron con suficientes registros actuales para su cálculo.

Primero, se hizo la identificación de estaciones situadas cerca de los principales cuerpos de agua que se muestran en el cuadro 9, especialmente en las cuatro principales presas que se sitúan dentro de la RH-30 (Figura 40), dado que se cuentan con los registros diarios de evaporación y el área superficial del espejo de agua del embalse, ambos datos serán necesario para el volumen de  $E_v$ .



**Figura 40. Localización de las principales presas en la RH-30**





La información fue consultada en el Sistema de Información Hidrológica (SIH,2022), así como del Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS). Aplicando los mismos criterios para las estaciones climatológicas, se estimó la superficie y la evaporación anual de cada embalse. Para el cálculo de  $E_v$ , se multiplicó la superficie con la evaporación, dividiendo el resultado entre mil (factor de conversión a  $Mm^3$ ), todos estos valores se pueden apreciar en el cuadro 37.

**Cuadro 37. Valores de área y de evaporación de cada embalse**

Clave	Estación	Área (km <sup>2</sup> )	Evaporación anual (mm)	$E_v$ (Mm <sup>3</sup> )	Cuencas
ANGCP	Presa Belisario Domínguez	498.13	1,786.22	889.77	3011, 3013*
CHICP	Presa Manuel Moreno Torres	20.18	1,901.65	38.37	3018
MALCP	Presa Nezahualcóyotl	271.38	1,362.00	369.62	3026
PENCP	Presa Ángel Albino Corzo	27.81	1,457.19	40.52	3029

\* El volumen de  $E_v$  se repartió de la siguiente manera: 3011 (19.91 Mm<sup>3</sup> = 2.24%) y 3013 (869.85 Mm<sup>3</sup> = 97.76%)

De igual forma con los volúmenes de importación calculados anteriormente, las cantidades de evaporación se replicaron para los escenarios futuros para el año 2034. Y como se mencionó al inicio de este apartado, al no contar con valores de variación de embalses, por consiguiente, el valor de  $A_v = 0$  en las cinco cuencas que cuentan con embalses.





## 8.6 Resultados del proceso de estimación del volumen de disponibilidad

En las siguientes páginas se muestran con detalle todos los volúmenes reportados en millones de metro cúbicos ( $Mm^3$ ) de las variables involucradas para el cálculo de la disponibilidad media anual de agua superficial de cada una de las 83 cuencas hidrológicas que conforman la RH-30 en sus tres escenarios distintos.

Dado por la extensión del número de cuencas en cada fila que se muestra, cada escenario consta de un conjunto de tres cuadros segmentadas bajo el siguiente orden:

1. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario actual 2020  
(Cuadro 38)
2. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario 2034 RCP 4.5  
(Cuadro 39)
3. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario 2034 RCP 8.5  
(Cuadro 40)





**Cuadro 38. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario actual 2020**

Clave	Cuenca hidrográfica	C <sub>p</sub>	A <sub>r</sub>	U <sub>c</sub>	R <sub>e</sub>	I <sub>m</sub>	E <sub>v</sub>	O <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	A <sub>b</sub>	R <sub>xy</sub>	D
3001	Lagartero	134.42	-	7.83	2.25	836.98	-	1,081.12	6.65	1,074.46	1,043.13	31.34
3002	Yayahuita	391.54	-	8.01	2.21	-	-	670.86	5.89	664.97	645.01	19.96
3003	Zacualpa	202.57	-	4.70	1.98	-	-	418.43	3.04	415.39	402.92	12.47
3004	Papizaca	51.44	-	3.12	1.53	-	-	126.87	2.88	123.99	120.27	3.72
3005	Presa La Concordia	299.52	-	3.50	0.75	-	-	351.13	2.83	348.30	339.18	9.13
3006	Selegua	201.10	965.82	54.97	12.92	918.69	-	2,347.62	80.04	2,267.57	2,199.10	68.47
3007	San Miguel	349.30	635.44	23.99	10.72	1,554.26	-	3,261.23	19.40	3,241.83	3,143.94	97.89
3008	La Concordia	171.08	296.76	62.19	13.07	-	-	542.44	71.76	470.68	456.46	14.21
3009	Aguacatenco	459.64	-	165.76	43.04	-	-	815.17	166.86	648.31	628.73	19.58
3010	Aguzarca	224.96	-	1.37	0.47	-	-	298.90	0.95	297.95	288.95	9.00
3011	San Pedro	317.62	-	24.88	6.56	-	19.91	452.74	37.32	415.42	402.88	12.54
3012	Grande o Salinas	463.04	-	10.69	7.72	-	-	530.22	8.71	521.51	505.77	15.75
3013	Presa La Angostura	906.96	6,288.46	9,345.53	9,312.11	-	0,869.85	18,667.78	10,207.27	8,460.52	7,896.80	563.71
3014	Hondo	137.29	-	14.05	4.53	-	-	158.04	12.57	145.47	135.78	9.69
3015	Tuxtla Gutiérrez	66.12	-	188.60	65.22	-	-	155.44	172.15	-16.70	-	-16.70
3016	Suchiapa	362.15	-	41.08	11.62	-	-	645.21	33.35	611.87	571.10	40.77
3017	Santo Domingo	452.26	-	42.01	12.45	-	-	734.40	37.87	696.54	650.13	46.41
3018	Presa Chicoasén	598.67	7,175.33	12,174.31	12,111.33	-	38.37	22,328.31	11,663.69	10,664.62	9,176.91	1,487.71
3019	Chicoasén	394.73	-	15.72	6.13	-	-	448.76	13.79	434.97	374.29	60.68
3020	Encajonado	328.66	-	1.10	0.36	-	-	626.90	0.88	626.02	455.35	170.67
3021	Cintalapa	189.72	-	30.79	9.79	-	-	369.17	26.82	342.34	249.01	93.33
3022	Soyatenco	152.31	-	7.58	2.07	-	-	321.67	6.55	315.12	229.21	85.91
3023	Alto Grijalva	73.52	8,057.78	20,362.62	20,360.42	-	-	22,173.31	10,945.61	11,227.70	8,134.54	3,093.16
3024	De La Venta	198.98	643.44	21.12	6.26	-	-	1,760.21	18.28	1,741.93	1,262.04	479.89
3025	Chapote	104.58	-	8.14	2.51	-	-	252.32	5.19	247.13	179.05	68.08
3026	Presa Nezahualcóyotl	971.27	9,055.61	20,365.20	20,361.49	-	369.62	25,393.76	11,316.85	14,076.90	7,081.08	6,995.82
3027	Tzimbac	214.91	-	36.59	35.77	-	-	280.95	20.27	260.68	131.13	129.55
3028	Zayula	575.03	-	0.84	0.63	-	-	502.47	0.75	501.72	252.38	249.34



**Cuadro 38. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario actual 2020 (Continuación)**

Clave	Cuenca hidrográfica	C <sub>p</sub>	A <sub>r</sub>	U <sub>c</sub>	R <sub>e</sub>	I <sub>m</sub>	E <sub>v</sub>	O <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	A <sub>b</sub>	R <sub>xy</sub>	D
3029	Presa Peñitas	695.69	14,839.31	15,452.53	15,452.05	-	27.81	30,987.05	15,480.34	15,506.71	107.03	15,399.68
3030	Paredón	484.01	-	2.50	0.92	-	-	484.93	2.50	482.43	3.33	479.10
3031	Platanar	608.82	-	1.21	0.35	-	-	609.16	1.21	607.95	4.20	603.76
3032	Mezcalapa	788.74	16,597.09	47.28	24.49	-	-	17,410.32	47.28	17,363.04	72.89	17,290.15
3033	El Carrizal	857.18	8,681.52	37.31	12.91	-	-	9,551.62	37.31	9,514.31	9.64	9,504.68
3034	Tabasquillo	166.74	9,514.31	0.01	0.01	-	-	9,681.07	0.01	9,681.05	9.79	9,671.26
3035	Cunduacán	285.13	-	24.81	12.46	-	-	297.59	24.81	272.78	0.95	271.83
3036	Samaría	521.17	8,954.30	33.03	12.20	-	-	9,487.67	33.03	9,454.64	-	9,454.64
3037	Caxcuchapa	360.11	-	30.29	12.08	-	-	372.19	30.29	341.90	-	341.90
3038	Basca	315.90	-	1.92	0.70	-	-	316.60	1.92	314.67	2.03	312.64
3039	Yashijá	408.86	-	3.08	0.96	-	-	409.81	3.08	406.73	2.63	404.10
3040	Shumulá	815.17	-	20.82	7.61	-	-	822.78	20.82	801.96	5.18	796.78
3041	Puxcatán	625.70	-	5.57	1.95	-	-	627.65	5.57	622.08	6.94	615.13
3042	Chacté	879.41	-	26.06	9.37	-	-	888.78	26.06	862.72	7.67	855.04
3043	De los plátanos	316.46	-	8.98	4.50	-	-	320.96	8.98	311.98	2.77	309.21
3044	Tulijá	1,724.55	1,523.36	7.45	2.88	-	-	3,250.80	7.45	3,243.35	13.55	3,229.80
3045	Macuxpana	1,157.98	622.08	12.52	4.67	-	-	1,784.72	12.52	1,772.20	7.40	1,764.80
3046	Almendo	865.04	1,174.70	13.69	5.12	-	-	2,044.85	13.69	2,031.16	4.49	2,026.67
3047	Chilapa	1,915.62	5,015.55	22.00	8.81	-	-	6,939.99	22.00	6,917.99	7.00	6,910.99
3048	Tacotalpa	637.10	2,031.16	3.21	1.40	-	-	2,669.66	3.21	2,666.45	2.70	2,663.75
3049	Chilapila	616.91	-	9.30	2.63	-	-	619.55	9.30	610.24	0.62	609.63
3050	De la Sierra	1,520.08	-	27.05	9.37	-	-	1,529.45	27.05	1,502.41	1.52	1,500.89
3051	Pichuocalco	1,655.71	-	25.47	7.93	-	-	1,663.65	25.47	1,638.18	1.66	1,636.52
3052	Viejo Mezcalapa	578.32	-	19.38	5.87	-	-	584.19	19.38	564.81	0.57	564.24
3053	Azul	763.32	-	25.30	7.88	-	-	771.20	25.30	745.91	14.15	731.76
3054	Tzanconeja	1,244.64	-	12.41	4.40	-	-	1,249.05	12.41	1,236.64	23.46	1,213.18
3055	Perlas	498.94	-	2.18	0.46	-	-	499.40	2.18	497.23	9.43	487.79
3056	Comitán	316.87	-	44.70	16.86	-	-	333.74	44.70	289.03	-	289.03



**Cuadro 38. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario actual 2020 (Continuación)**

Clave	Cuenca hidrográfica	C <sub>p</sub>	A <sub>r</sub>	U <sub>c</sub>	R <sub>e</sub>	I <sub>m</sub>	E <sub>v</sub>	O <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	A <sub>b</sub>	R <sub>xy</sub>	D
3057	Margaritas	278.55	-	16.81	5.11	-	-	283.66	16.81	266.85	-	266.85
3058	Jatate	1,023.78	2,479.77	6.62	1.62	-	-	3,505.17	6.62	3,498.55	59.87	3,438.68
3059	Ixcán	20.29	-	0.05	0.02	6,435.33	-	6,455.64	0.05	6,455.59	110.47	6,345.12
3060	Chajul	22.67	-	-	-	3,117.50	-	3,140.17	-	3,140.17	53.74	3,086.44
3061	Lacanjá	1,247.14	-	5.32	1.56	-	-	1,248.71	5.32	1,243.38	21.28	1,222.10
3062	San Pedro	1,101.43	-	0.06	0.02	-	-	1,101.45	0.06	1,101.39	18.85	1,082.54
3063	Laguna Miramar	376.16	-	0.51	0.13	-	-	376.29	0.51	375.78	6.43	369.35
3064	Euseba	392.74	-	0.90	0.35	-	-	393.09	0.90	392.19	6.71	385.48
3065	Caliente	237.60	-	0.63	0.24	-	-	237.84	0.63	237.21	4.06	233.15
3066	Seco	430.82	-	0.56	0.39	-	-	431.22	0.56	430.66	7.37	423.29
3067	Santo Domingo	452.47	-	4.06	1.06	-	-	453.54	4.06	449.48	7.69	441.79
3068	Lacantún	2,461.22	17,324.40	4.37	1.97	2,784.94	-	22,572.53	4.37	22,568.17	381.90	22,186.26
3069	San Pedro	1,282.93	-	6.07	1.98	1,465.94	-	2,750.86	6.07	2,744.78	46.45	2,698.33
3070	Chixoy	799.01	-	5.78	1.67	33,005.29	-	33,805.96	5.78	33,800.19	571.97	33,228.21
3071	Chocajlah	635.41	-	3.45	1.00	-	-	636.40	3.45	632.96	10.71	622.24
3072	Chacamax	1,060.07	-	21.75	5.69	-	-	1,065.77	21.75	1,044.02	17.67	1,026.35
3073	Usamacinta	4,764.11	60,790.11	131.45	34.99	2,726.49	-	68,315.70	131.45	68,184.26	1,024.60	67,159.65
3074	Grijalva	1,372.68	46,309.22	48.26	36.08	-	-	47,717.98	48.26	47,669.72	-	47,669.72
3075	Palizada	811.28	22,728.09	987.03	148.36	-	-	23,687.73	987.03	22,700.70	56.51	22,644.19
3076	San Pedro y San Pablo	536.15	22,728.09	0.37	0.08	-	-	23,264.31	0.37	23,263.94	-	23,263.94
3077	Laguna del Este	597.40	22,700.70	58.06	27.47	-	-	23,325.57	58.06	23,267.50	-	23,267.50
3078	Laguna de Términos	1,218.06	-	39.31	19.56	-	-	1,237.62	39.31	1,198.31	-	1,198.31
3079	Mamantel	479.16	-	4.82	1.64	-	-	480.79	4.82	475.97	-	475.97
3080	Cumpan	1,680.54	-	2.99	0.79	-	-	1,681.33	2.99	1,678.34	-	1,678.34
3081	Laguna del Pom y Atasta	814.90	-	1.67	0.57	-	-	815.47	1.67	813.80	-	813.80
3082	Alto Candelaria	2,103.46	-	4.91	2.44	678.93	-	2,784.83	4.91	2,779.92	165.14	2,614.77
3083	Bajo Candelaria	699.18	2,779.92	209.20	42.37	-	-	3,521.46	209.20	3,312.27	-	3,312.27
<b>Total (2020)</b>		<b>61,930.30</b>		<b>61,075.53</b>	<b>58,962.01</b>	<b>53,524.35</b>		<b>1,325.56</b>				<b>374,965.70</b>

**Cuadro 39. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario 2034 RCP 4.5**

Clave	Cuenca hidrográfica	C <sub>p</sub>	A <sub>r</sub>	U <sub>c</sub>	R <sub>e</sub>	I <sub>m</sub>	E <sub>v</sub>	O <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	A <sub>b</sub>	R <sub>xy</sub>	D
3001	Lagartero	141.29	-	7.83	2.25	836.98	-	980.52	7.83	972.69	966.04	6.65
3002	Yayahuita	424.83	-	8.01	2.21	-	-	427.04	8.01	419.03	416.12	2.91
3003	Zacualpa	217.16	-	4.70	1.98	-	-	219.14	4.70	214.44	212.95	1.49
3004	Papizaca	56.18	-	3.12	1.53	-	-	57.71	3.12	54.58	54.20	0.38
3005	Presas La Concordia	327.53	-	3.50	0.75	-	-	328.28	3.50	324.77	322.76	2.01
3006	Selegua	218.35	972.69	54.97	12.92	918.69	-	2,122.65	54.97	2,067.68	2,053.17	14.51
3007	San Miguel	373.09	688.06	23.99	10.72	1,554.26	-	2,626.13	23.99	2,602.14	2,583.88	18.26
3008	La Concordia	188.09	324.77	62.19	13.07	-	-	525.93	62.19	463.74	460.49	3.25
3009	Aguacatenco	525.86	-	165.76	43.04	-	-	568.90	165.76	403.15	400.32	2.83
3010	Aguzarca	243.81	-	1.37	0.47	-	-	244.28	1.37	242.91	241.21	1.70
3011	San Pedro	352.67	-	24.88	6.56	-	19.91	359.23	44.79	314.44	312.23	2.21
3012	Grande o Salinas	498.77	-	10.69	7.72	-	-	506.49	10.69	495.80	492.32	3.48
3013	Presas La Angostura	1,025.94	6,589.86	9,345.53	9,312.11	-	869.85	16,927.91	10,215.38	6,712.53	6,593.75	118.78
3014	Hondo	149.46	-	14.05	4.53	-	-	154.00	14.05	139.95	137.47	2.48
3015	Tuxtla Gutiérrez	74.76	-	188.60	65.22	-	-	139.98	188.60	-48.62	-	-48.62
3016	Suchiapa	403.44	-	41.08	11.62	-	-	415.06	41.08	373.98	367.36	6.62
3017	Santo Domingo	502.75	-	42.01	12.45	-	-	515.20	42.01	473.19	464.82	8.37
3018	Presas Chicoasén	676.56	7,699.65	12,174.31	12,111.33	-	38.37	20,487.55	12,212.67	8,274.87	7,912.33	362.54
3019	Chicoasén	426.55	-	15.72	6.13	-	-	432.67	15.72	416.95	398.68	18.27
3020	Encajonado	354.30	-	1.10	0.36	-	-	354.66	1.10	353.56	303.28	50.28
3021	Cintalapa	210.75	-	30.79	9.79	-	-	220.53	30.79	189.74	162.76	26.98
3022	Soyatenco	165.81	-	7.58	2.07	-	-	167.88	7.58	160.30	137.50	22.79
3023	Alto Grijalva	83.40	8,691.82	20,362.62	20,360.42	-	-	29,135.65	20,362.62	8,773.03	7,496.52	1,276.50
3024	De La Venta	221.55	703.60	21.12	6.26	-	-	931.40	21.12	910.28	777.83	132.45
3025	Chapopote	119.80	-	8.14	2.51	-	-	122.31	8.14	114.18	97.56	16.61
3026	Presas Nezahualcóyotl	1,049.93	9,797.48	20,365.20	20,361.49	-	369.62	31,208.90	20,734.82	10,474.08	5,933.09	4,540.99
3027	Tzimbac	231.30	-	36.59	35.77	-	-	267.07	36.59	230.48	130.55	99.92
3028	Zayula	609.73	-	0.84	0.63	-	-	610.36	0.84	609.52	345.26	264.25

**Cuadro 39. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario 2034 RCP 4.5 (Continuación)**

Clave	Cuenca hidrográfica	C <sub>p</sub>	A <sub>r</sub>	U <sub>c</sub>	R <sub>e</sub>	I <sub>m</sub>	E <sub>v</sub>	O <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	A <sub>b</sub>	R <sub>xy</sub>	D
3029	Presa Peñitas	816.20	11,314.07	15,453.07	15,452.25	-	27.81	27,582.52	15,480.87	12,101.65	143.36	11,958.29
3030	Paredón	719.03	-	2.98	1.06	-	-	720.09	2.98	717.11	8.50	708.62
3031	Platanar	934.66	-	1.36	0.37	-	-	935.04	1.36	933.67	11.06	922.61
3032	Mezcalapa	933.81	13,752.43	92.41	48.74	-	-	14,734.98	92.41	14,642.57	82.14	14,560.43
3033	El Carrizal	810.99	7,321.28	42.93	16.90	-	-	8,149.18	42.93	8,106.25	8.77	8,097.48
3034	Tabasquillo	157.94	8,106.25	-	-	-	-	8,264.19	-	8,264.19	8.94	8,255.24
3035	Cunduacán	269.74	-	27.92	14.79	-	-	284.54	27.92	256.62	1.25	255.37
3036	Samaría	457.54	7,577.90	39.26	16.83	-	-	8,052.27	39.26	8,013.01	-	8,013.01
3037	Caxuchapa	363.31	-	33.96	14.62	-	-	377.93	33.96	343.97	-	343.97
3038	Basca	374.24	-	2.08	0.82	-	-	375.06	2.08	372.98	2.80	370.18
3039	Yashijá	383.26	-	3.50	1.27	-	-	384.53	3.50	381.03	2.86	378.17
3040	Shumulá	821.16	-	23.65	9.72	-	-	830.88	23.65	807.23	6.06	801.18
3041	Puxcatán	779.94	-	6.25	2.46	-	-	782.40	6.25	776.15	8.47	767.67
3042	Chacté	809.51	-	29.58	12.00	-	-	821.51	29.58	791.94	8.06	783.88
3043	De los plátanos	255.20	-	10.82	5.85	-	-	261.06	10.82	250.24	2.55	247.69
3044	Tulijá	2,031.54	1,561.24	8.42	3.43	-	-	3,596.20	8.42	3,587.78	18.56	3,569.23
3045	Macuxpana	1,537.59	776.15	13.39	5.32	-	-	2,319.06	13.39	2,305.67	11.93	2,293.74
3046	Almendo	930.82	1,042.17	15.62	6.56	-	-	1,979.56	15.62	1,963.94	4.53	1,959.41
3047	Chilapa	2,043.23	5,893.45	32.55	12.41	-	-	7,949.09	32.55	7,916.54	8.57	7,907.97
3048	Tacotalpa	817.57	1,963.94	3.41	1.55	-	-	2,783.06	3.41	2,779.65	3.01	2,776.64
3049	Chilapila	570.41	-	9.92	3.12	-	-	573.52	9.92	563.61	0.61	563.00
3050	De la Sierra	1,794.79	-	34.81	11.91	-	-	1,806.70	34.81	1,771.89	1.92	1,769.97
3051	Pichucalco	2,168.74	-	30.08	10.94	-	-	2,179.68	30.08	2,149.60	2.33	2,147.27
3052	Viejo Mezcalapa	678.77	-	21.84	7.51	-	-	686.28	21.84	664.44	0.72	663.72
3053	Azul	775.52	-	29.39	10.60	-	-	786.12	29.39	756.73	26.52	730.22
3054	Tzanconeja	1,142.07	-	14.47	5.67	-	-	1,147.74	14.47	1,133.27	39.71	1,093.56
3055	Pérlas	889.36	-	2.41	0.64	-	-	890.00	2.41	887.58	31.10	856.48
3056	Comitán	224.65	-	56.05	22.38	-	-	247.03	56.05	190.98	-	190.98



**Cuadro 39. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario 2034 RCP 4.5 (Continuación)**

Clave	Cuenca hidrográfica	C <sub>p</sub>	A <sub>r</sub>	U <sub>c</sub>	R <sub>e</sub>	I <sub>m</sub>	E <sub>v</sub>	O <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	A <sub>b</sub>	R <sub>xy</sub>	D
3057	Margaritas	202.13	-	21.19	6.78	-	-	208.91	21.19	187.73	-	187.73
3058	Jatate	1,412.64	2,777.59	7.34	2.04	-	-	4,192.27	7.34	4,184.93	139.56	4,045.37
3059	Ixcán	25.74	-	0.06	0.02	6,435.33	-	6,461.09	0.06	6,461.03	215.46	6,245.57
3060	Chajul	24.18	-	-	-	3,117.50	-	3,141.68	-	3,141.68	104.77	3,036.92
3061	Lacanjá	1,807.19	-	5.90	2.00	-	-	1,809.19	5.90	1,803.29	60.14	1,743.15
3062	San Pedro	1,520.86	-	0.09	0.05	-	-	1,520.91	0.09	1,520.82	50.72	1,470.11
3063	Laguna Miramar	465.14	-	0.71	0.19	-	-	465.33	0.71	464.61	15.49	449.12
3064	Euseba	541.70	-	1.01	0.43	-	-	542.13	1.01	541.12	18.05	523.08
3065	Caliente	310.87	-	0.74	0.32	-	-	311.20	0.74	310.45	10.35	300.10
3066	Seco	419.48	-	0.67	0.47	-	-	419.95	0.67	419.29	13.98	405.31
3067	Santo Domingo	410.84	-	4.89	1.43	-	-	412.27	4.89	407.38	13.59	393.80
3068	Lacantún	2,750.88	19,254.61	7.09	2.78	2,784.94	-	24,793.22	7.09	24,786.13	819.71	23,966.42
3069	San Pedro	1,219.39	-	9.10	2.61	1,465.94	-	2,687.95	9.10	2,678.85	88.59	2,590.26
3070	Chixoy	949.94	-	8.55	2.45	33,005.29	-	33,957.67	8.55	33,949.12	1,122.74	32,826.38
3071	Chocajah	791.40	-	3.69	1.18	-	-	792.58	3.69	788.89	26.09	762.80
3072	Chacamax	1,119.26	-	27.15	7.73	-	-	1,126.98	27.15	1,099.83	36.37	1,063.46
3073	Usumacinta	4,985.09	63,302.83	140.01	40.65	2,726.49	-	71,055.06	140.01	70,915.05	2,209.87	68,705.18
3074	Grijalva	1,298.00	47,748.26	53.12	39.64	-	-	49,085.90	53.12	49,032.78	-	49,032.78
3075	Palizada	714.10	23,638.35	2,223.51	333.88	-	-	24,686.33	2,223.51	22,462.81	57.23	22,405.58
3076	San Pedro y San Pablo	394.14	23,638.35	0.37	0.08	-	-	24,032.57	0.37	24,032.20	-	24,032.20
3077	Laguna del Este	448.54	22,462.81	58.44	27.55	-	-	22,938.90	58.44	22,880.46	-	22,880.46
3078	Laguna de Términos	1,113.88	-	45.64	24.31	-	-	1,138.18	45.64	1,092.54	-	1,092.54
3079	Mamatel	454.78	-	8.15	2.64	-	-	457.42	8.15	449.28	-	449.28
3080	Cumpan	1,558.55	-	3.48	0.89	-	-	1,559.45	3.48	1,555.96	-	1,555.96
3081	Laguna del Pom y Atasta	515.45	-	1.92	0.76	-	-	516.21	1.92	514.29	-	514.29
3082	Alto Candelaria	2,651.81	678.93	6.73	3.04	678.93	-	3,333.77	6.73	3,327.05	222.43	3,104.62
3083	Bajo Candelaria	677.58	3,327.05	271.40	54.98	-	-	4,059.60	271.40	3,788.20	-	3,788.20
<b>Total (2034 RCP 4.5)</b>		<b>63,148.85</b>	<b>81,579.25</b>	<b>78,664.51</b>	<b>53,524.35</b>	<b>1,325.56</b>						<b>367,537.55</b>

**Cuadro 40. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario 2034 RCP 8.5**

Clave	Cuenca hidrográfica	C <sub>p</sub>	A <sub>r</sub>	U <sub>c</sub>	R <sub>e</sub>	I <sub>m</sub>	E <sub>v</sub>	O <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	A <sub>b</sub>	R <sub>xy</sub>	D
3001	Lagartero	134.42	-	7.83	2.25	836.98	-	973.65	7.83	965.82	960.63	5.19
3002	Yayahuita	391.54	-	8.01	2.21	-	-	393.75	8.01	385.74	383.63	2.11
3003	Zacualpa	202.57	-	4.70	1.98	-	-	204.55	4.70	199.85	198.76	1.09
3004	Papizaca	51.44	-	3.12	1.53	-	-	52.97	3.12	49.85	49.57	0.27
3005	Presa La Concordia	299.52	-	3.50	0.75	-	-	300.27	3.50	296.76	295.34	1.43
3006	Selegua	201.10	965.82	54.97	12.92	918.69	-	2,098.53	54.97	2,043.56	2,032.28	11.28
3007	San Miguel	349.30	635.44	23.99	10.72	1,554.26	-	2,549.71	23.99	2,525.73	2,511.78	13.94
3008	La Concordia	171.08	296.76	62.19	13.07	-	-	480.91	62.19	418.73	416.41	2.31
3009	Aguacatenco	459.64	-	165.76	43.04	-	-	502.68	165.76	336.92	335.06	1.86
3010	Aguzarca	224.96	-	1.37	0.47	-	-	225.43	1.37	224.06	222.83	1.24
3011	San Pedro	317.62	-	24.88	6.56	-	19.91	324.18	44.79	279.39	277.85	1.54
3012	Grande o Salinas	463.04	-	10.69	7.72	-	-	470.76	10.69	460.07	457.53	2.54
3013	Presa La Angostura	906.96	6,288.46	9,345.53	9,312.11	-	869.85	16,507.54	10,215.38	6,292.16	6,201.03	91.12
3014	Hondo	137.29	-	14.05	4.53	-	-	141.82	14.05	127.77	125.92	1.85
3015	Tuxtla Gutiérrez	66.12	-	188.60	65.22	-	-	131.34	188.60	-57.25	-	-57.25
3016	Suchiapa	362.15	-	41.08	11.62	-	-	373.77	41.08	332.69	327.87	4.82
3017	Santo Domingo	452.26	-	42.01	12.45	-	-	464.72	42.01	422.71	416.59	6.12
3018	Presa Chicoasén	598.67	7,175.33	12,174.31	12,111.33	-	38.37	19,885.33	12,212.67	7,672.66	7,384.68	287.98
3019	Chicoasén	394.73	-	15.72	6.13	-	-	400.85	15.72	385.13	370.67	14.46
3020	Encajonado	328.66	-	1.10	0.36	-	-	329.02	1.10	327.91	285.85	42.06
3021	Cintalapa	189.72	-	30.79	9.79	-	-	199.51	30.79	168.72	147.08	21.64
3022	Soyatenco	152.31	-	7.58	2.07	-	-	154.38	7.58	146.80	127.97	18.83
3023	Alto Grijalva	73.52	8,057.78	20,362.62	20,360.42	-	-	28,491.73	20,362.62	8,129.10	7,059.72	1,069.38
3024	De La Venta	198.98	643.44	21.12	6.26	-	-	848.68	21.12	827.56	718.69	108.86
3025	Chapote	104.58	-	8.14	2.51	-	-	107.09	8.14	98.95	85.93	13.02
3026	Presa Nezahualcóyotl	971.27	9,055.61	20,365.20	20,361.49	-	369.62	30,388.37	20,734.82	9,653.55	5,655.97	3,997.57
3027	Tzimbac	214.91	-	36.59	35.77	-	-	250.68	36.59	214.09	125.43	88.66
3028	Zayula	575.03	-	0.84	0.63	-	-	575.66	0.84	574.82	336.78	238.03

**Cuadro 40. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario 2034 RCP 8.5 (Continuación)**

Clave	Cuenca hidrográfica	C <sub>p</sub>	A <sub>r</sub>	U <sub>c</sub>	R <sub>e</sub>	I <sub>m</sub>	E <sub>v</sub>	O <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	A <sub>b</sub>	R <sub>xy</sub>	D
3029	Presa Peñitas	772.58	10,442.45	15,453.07	15,452.25	-	27.81	26,667.28	15,480.87	11,186.40	143.37	11,043.03
3030	Paredón	666.49	-	2.98	1.06	-	-	667.55	2.98	664.57	8.52	656.05
3031	Platanar	876.67	-	1.36	0.37	-	-	877.04	1.36	875.68	11.22	864.45
3032	Mezcalapa	859.21	12,726.65	92.41	48.74	-	-	26,667.28	15,480.87	11,186.40	143.37	11,043.03
3033	El Carrizal	703.76	6,771.09	42.93	16.90	-	-	7,491.76	42.93	7,448.83	8.49	7,440.34
3034	Tabasquillo	137.51	7,448.83	-	-	-	-	7,586.34	-	7,586.34	8.65	7,577.69
3035	Cunduacán	235.48	-	27.92	14.79	-	-	250.27	27.92	222.35	1.18	221.17
3036	Samaría	401.81	6,993.45	39.26	16.83	-	-	7,412.08	39.26	7,372.82	-	7,372.82
3037	Caxcuchapa	317.60	-	33.96	14.62	-	-	332.22	33.96	298.26	-	298.26
3038	Basca	354.52	-	2.08	0.82	-	-	355.34	2.08	353.25	2.85	350.41
3039	Yashijá	360.44	-	3.50	1.27	-	-	361.71	3.50	358.21	2.89	355.32
3040	Shumulá	780.34	-	23.65	9.72	-	-	790.07	23.65	766.42	6.18	760.24
3041	Puxcatán	736.34	-	6.25	2.46	-	-	738.79	6.25	732.54	8.62	723.92
3042	Chaeté	764.28	-	29.58	12.00	-	-	776.28	29.58	746.70	8.07	738.63
3043	De los plátanos	237.27	-	10.82	5.85	-	-	243.12	10.82	232.30	2.51	229.79
3044	Tulijá	1,899.09	1,477.88	8.42	3.43	-	-	3,380.40	8.42	3,371.98	18.83	3,353.15
3045	Macuxpana	1,415.41	732.54	13.39	5.32	-	-	2,153.27	13.39	2,139.88	11.95	2,127.93
3046	Almendo	877.86	979.00	15.62	6.56	-	-	1,863.43	15.62	1,847.81	4.53	1,843.28
3047	Chilapa	1,792.93	5,511.87	32.55	12.41	-	-	7,317.20	32.55	7,284.65	8.31	7,276.34
3048	Tacotalpa	748.39	1,847.81	3.41	1.55	-	-	2,597.74	3.41	2,594.34	2.96	2,591.38
3049	Chilapila	497.75	-	9.92	3.12	-	-	500.87	9.92	490.95	0.56	490.39
3050	De la Sierra	1,673.01	-	34.81	11.91	-	-	1,684.91	34.81	1,650.10	1.88	1,648.22
3051	Pichucalco	2,010.45	-	30.08	10.94	-	-	2,021.39	30.08	1,991.31	2.27	1,989.04
3052	Viejo Mezcalapa	610.75	-	21.84	7.51	-	-	618.26	21.84	596.42	0.68	595.74
3053	Azul	751.54	-	29.39	10.60	-	-	762.14	29.39	732.75	26.23	706.52
3054	Tzanconeja	1,101.57	-	14.47	5.67	-	-	1,107.24	14.47	1,092.76	39.12	1,053.64
3055	Perlas	869.14	-	2.41	0.64	-	-	869.77	2.41	867.36	31.05	836.31
3056	Comitán	209.27	-	56.05	22.38	-	-	231.65	56.05	175.60	-	175.60



**Cuadro 40. Volúmenes de disponibilidad y sus variables. Escenario 2034 RCP 8.5 (Continuación)**

Clave	Cuenca hidrográfica	C <sub>p</sub>	A <sub>r</sub>	U <sub>c</sub>	R <sub>e</sub>	I <sub>m</sub>	E <sub>v</sub>	O <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	A <sub>b</sub>	R <sub>xy</sub>	D
3057	Margaritas	190.86	-	21.19	6.78	-	-	197.64	21.19	176.45	-	176.45
3058	Jatate	1,369.76	2,692.88	7.34	2.04	-	-	4,064.68	7.34	4,057.34	138.17	3,919.17
3059	Ixcán	24.62	-	0.06	0.02	6,435.33	-	6,459.97	0.06	6,459.91	219.99	6,239.93
3060	Chajul	22.78	-	-	-	3,117.50	-	3,140.28	-	3,140.28	106.94	3,033.34
3061	Lacanjá	1,743.42	-	5.90	2.00	-	-	1,745.41	5.90	1,739.51	59.24	1,680.28
3062	San Pedro	1,455.31	-	0.09	0.05	-	-	1,455.36	0.09	1,455.27	49.56	1,405.71
3063	Laguna Miramar	443.27	-	0.71	0.19	-	-	443.46	0.71	442.74	15.08	427.66
3064	Euseba	524.33	-	1.01	0.43	-	-	524.76	1.01	523.75	17.84	505.91
3065	Caliente	302.02	-	0.74	0.32	-	-	302.34	0.74	301.60	10.27	291.33
3066	Seco	409.51	-	0.67	0.47	-	-	409.98	0.67	409.31	13.94	395.37
3067	Santo Domingo	402.00	-	4.89	1.43	-	-	403.42	4.89	398.54	13.57	384.96
3068	Lacantún	2,613.40	18,928.24	7.09	2.78	2,784.94	-	24,329.36	7.09	24,322.28	821.43	23,500.85
3069	San Pedro	1,099.69	-	9.10	2.61	1,465.94	-	2,568.24	9.10	2,559.15	86.43	2,472.72
3070	Chixoy	888.05	-	8.55	2.45	33,005.29	-	33,895.78	8.55	33,887.23	1,144.47	32,742.76
3071	Chocajah	767.72	-	3.69	1.18	-	-	768.90	3.69	765.21	25.84	739.37
3072	Chacamax	1,021.49	-	27.15	7.73	-	-	1,029.22	27.15	1,002.07	33.84	968.23
3073	Usumacinta	4,533.84	62,535.94	140.01	40.65	2,726.49	-	69,836.92	140.01	69,696.92	2,218.58	67,478.34
3074	Grijaiva	1,121.61	45,426.41	53.12	39.64	-	-	46,587.67	53.12	46,534.55	-	46,534.55
3075	Palizada	611.23	23,232.31	2,223.51	333.88	-	-	24,177.41	2,223.51	21,953.90	57.37	21,896.53
3076	San Pedro y San Pablo	334.30	23,232.31	0.37	0.08	-	-	23,566.69	0.37	23,566.31	-	23,566.31
3077	Laguna del Este	383.43	21,953.90	58.44	27.55	-	-	22,364.88	58.44	22,306.44	-	22,306.44
3078	Laguna de Términos	947.61	-	45.64	24.31	-	-	971.92	45.64	926.28	-	926.28
3079	Mamatel	385.63	-	8.15	2.64	-	-	388.27	8.15	380.12	-	380.12
3080	Cumpan	1,360.11	-	3.48	0.89	-	-	1,361.00	3.48	1,357.52	-	1,357.52
3081	Laguna del Pom y Atasta	433.92	-	1.92	0.76	-	-	434.68	1.92	432.76	-	432.76
3082	Alto Candelaria	2,341.59	-	6.73	3.04	678.93	-	3,023.56	6.73	3,016.84	223.98	2,792.86
3083	Bajo Candelaria	583.79	3,016.84	271.40	54.98	-	-	3,655.60	271.40	3,384.20	-	3,384.20
<b>Total (2034 RCP 8.5)</b>		<b>57,970.12</b>		<b>81,979.37</b>	<b>78,664.51</b>	<b>53,524.35</b>	<b>1,325.56</b>					<b>352,738.79</b>



## IX. REFERENCIAS CONSULTADAS

- Breña-Puyol, A. F., & Breña-Naranjo, J. A. (2017). Disponibilidad de agua en el futuro de México. *Ciencia*, 1(3), 64–71.
- Bretas, F., Casanova, G., Crisman, T., Embid, A., Martin, L., Miralles, F., & Muñoz, R. (2019). *Agua para el futuro: Estrategia de seguridad hídrica para América Latina y el Caribe* (p. 215). Banco Interamericano de Desarrollo (BID).  
<https://doi.org/10.18235/0002816>
- Bunge, V. (2010). La disponibilidad natural de agua en las cuencas de México. En *Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización* (pp. 46–49).
- Cervera F. M., Rangel G. J. W. (2015). Distribución de la Población por Tamaño de Localidad y su Relación con el Medio Ambiente. En: Seminario-Taller “Información para la toma de decisiones: Población y Medio Ambiente”. INEGI-El Colegio de México (COLMEX). Disponible en:  
<https://www.inegi.org.mx/eventos/2015/poblacion/doc/p-walterrangel.pdf>
- CONAGUA. (1999). Estudio de disponibilidad y balance hidráulico actualizado de aguas superficiales de la cuenca del Río Verde y Juchipila. Informe final. Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2022a). *Estadísticas del agua en México, Edición 2021*.
- CONAGUA. (2022b). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Consultado el 23 de junio del 2022 en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>





CONAPO. (2019). *Proyecciones de la población de México y entidades federativas 2016-2050. República Mexicana.*

CONANP. (2019). ¿Sabes cuánta agua consumes? (Artículo web). Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Consultado el 29 de agosto del 2022 en: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/sabes-cuanta-agua-consumes>

DOF. (1992). Ley de Aguas Nacionales (Última reforma DOF-24-03-2016). *Diario Oficial de la Nación*. 110 pp.

DOF. (2013). DECRETO por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley del Impuesto al Valor Agregado: de la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios; de la Ley Federal de Derechos, se expide la Ley del Impuesto sobre la Renta, y se derogan la Ley del Impuesto Empresarial a Tasa Única, y la Ley del Impuesto a los Depósitos en Efectivo. *Diario Oficial de la Nación*, Segunda Sección. p 1.

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. *Diario Oficial de la Nación*, Primera Sección, p 5.

DOF. (2016). ACUERDO por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. *Diario Oficial de la Nación*, Segunda Sección, p 1.





DOF. (2018a). ACUERDO por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas Lagartero, Yayahuita, Zacualpa, Papizaca, Presa La Concordia, Selegua, San Miguel, La Concordia, Aguacatenco, Aguzarca, San Pedro, Grande o Salinas, Presa La Angostura, Hondo, Tuxtla Gutiérrez, Suchiapa, Santo Domingo, Presa Chicoasén, Chicoasén, Encajonado, Cintalapa, Soyatenco, Alto Grijalva, De La Venta, Chapopote, Presa Nezahualcóyotl, Tzimbac, Zayula, Presa Peñitas, Paredón, Platanar, Mezcalapa, El Carrizal, Tabasquillo, Cunduacán, Samaría, Caxcuchapa, Basca, Yashijá, Shumulá, Puxcatán, Chacté, De los Plátanos, Tulijá, Macuxpana, Almendro, Chilapa, Tacotalpa, Chilapilla, De la Sierra, Pichucalco, Viejo Mezcalapa, Azul, Tzanconeja, Perlas, Comitán, Margaritas, Jatate, Ixcán, Chajul, Lacanjá, San Pedro, Laguna Miramar, Euseba, Caliente, Seco, Santo Domingo, Lacantún, San Pedro, Chixoy, Chocaljah, Chacamax, Usumacinta, Grijalva, Palizada, San Pedro y San Pablo, Laguna del Este, Laguna de Términos, Mamatel, Cumpan y Laguna del Pom y Atasta, pertenecientes a la Región Hidrológica número 30 Grijalva-Usumacinta. *Diario Oficial de la Nación*, Tercera Sección, p 3.

DOF. (2018b). DECRETO por el que se suprimen las vedas existentes en las cuencas hidrológicas Presa La Concordia y La Concordia, de la Región Hidrológica número 30 Grijalva-Usumacinta y se establecen zonas de reserva de aguas nacionales superficiales para los usos doméstico, público urbano y ambiental o conservación ecológica en las cuencas hidrológicas que se señalan, las cuales





forman parte de la Región Hidrológica antes referida. *Diario Oficial de la Nación*. Segunda Sección-Vespertina, p 52.

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. *Diario Oficial de la Nación*, Única Sección, p 5.

Fernández-Eguiarte, A., Zavala-Hidalgo, J., Romero-Centeno, R., Conde-Álvarez, A. C., & Trejo-Vázquez, R. I. (2015). Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica. *Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*, 1–22.

Huacuz-Villamar, J. M. (2016). *Energías renovables en el IIE, punto de apoyo para la transición energética de México*. Instituto de Investigaciones Eléctricas.

INEGI (2021). Sistema de Consulta de Integración Territorial, Entorno Urbano y Localidad, principales resultados por localidad (ITER) 2020. Consultado el 10 de diciembre del 2021 en: <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>

INEGI (2022). Población Rural y urbana. En: Cuéntame de México. Instituto Mexicano de Geografía y Estadística. Consultado el 5 de junio del 2022 en: [https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur\\_urb.aspx?tema=P](https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P)

ICACC (2022). Datos de escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC. En: Repositorio Institucional, Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. Consultado el 13 de febrero del 2022 en: <https://ri.atmosfera.unam.mx/AR6/srv/spa/catalog.search#/home>





IPCC, Climate Change 2021 (2021). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>

López-García, T. G., Manzano, M. G., & Ramírez, A. I. (2017). Disponibilidad hídrica bajo escenarios de cambio climático en el Valle de Galeana, Nuevo León, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(1), 105–114. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-08>

Lozano-Parra, J. (2018). Recursos hídricos. Disponibilidad, variabilidad y gestión. *Revista de geografía Norte Grande*, 71, 5–8. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022018000300005>

Martínez-Austria, P. F., & Patiño-Gómez, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(1), 5–20.

Montero-Martínez, M. J., Ojeda-Bustamante, W., Santana-Sepúlveda, J. S., Prieto-González, R., y Lobato-Sánchez, R. (2013). Sistema de consulta de proyecciones regionalizadas de cambio climático para México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(2), 113–128.

PIGOO (2022). Mapa de organismos operadores. Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.





Consultado el 7 mayo del 2022 en: <http://www.pigoo.gob.mx/organismosoperadores.jsp>

REPDA (2021). Consulta a la base de datos del REPDA, títulos y permisos de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes (Última modificación: 28 de octubre del 2021). Comisión Nacional del Agua. Consultado el 12 de mayo del 2022 en: <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>

Salinas-Prieto, J. A., Colorado-Ruiz, G., & Maya-Magaña, M. Eugenia. (2015). Escenarios de cambio climático para México. En *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. (pp. 41–69).

Sánchez-Ortiz, E. (2013). El uso de la disponibilidad relativa de agua como indicador en la cuenca del río San Pedro, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(5), 199–206.

SENER. (2020). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2020.2034. Secretaría de Energía. Documento disponible en: <https://www.gob.mx/sener/articulos/prodesen-2020-2034>

Sexta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2018). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Silva-Hidalgo, H., Aldama, Á. A., Martín-Domínguez, I. R., & Alarcón-Herrera, M. T. (2013). Metodología para la determinación de disponibilidad y déficit de agua superficial en cuencas hidrológicas: Aplicación al caso de la normativa mexicana. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(1), 27–50.





SIH (2022). *Base de datos histórica del SIH de estaciones climatológicas, hidrométricas y presas*. Sistema de Información Hidrológica. En: <https://sih.conagua.gob.mx/>

SINA (2021). *Reporte anual de disponibilidad de cuencas (nacional)*. Sistema Nacional de Información del Agua, Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Consultado el 11 de febrero del 2021 en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas&ver=reporte&o=0&n=nacional>

SMN (2022). Información Estadística Climatológica, Información de Estaciones Climatológicas, Servicio Meteorológico Nacionales. Consultado del 17 de marzo del 2022 En: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Sosa-Rodríguez, F. S. (2013). El futuro de la disponibilidad del agua en México y las medidas de adaptación utilizadas en el contexto internacional. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM*, 22(2), 168–187.

Suárez-Medina, M. de los Á., Patiño-Gómez, C., Velázquez-Álvarez, J., Rivera-Benítez, J., Aguilar-Garduño, E., Bautista, G., & Astudillo-Enríquez, C. (2015). Aplicación del modelo de datos ArcHydro en el cálculo de disponibilidad de agua superficial. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(1), 175–181.

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 Mexicano del Agua.







UNESCO. (2006). *Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. Documento técnico del PHI-LAC, No. 4.*

UN-Water. (2019). *Informe de políticas de ONU-AGUA sobre el cambio climático y el agua* (p. 27). Grupo de Expertos de ONU-Agua sobre el Agua y el Cambio Climático.

WRB (2014). World Reference Base of Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO. Rome, Italy.

