



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

Elmer Natanael Sánchez Cortés^{1*}; Rodrigo Roblero Hidalgo¹; Roel Simuta Champo¹; José Avidán Bravo Jácome¹; Ana Alicia Placios Fonseca¹

¹Coordinación de Hidrología. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

elmer.sanchez@posgrado.imta.edu.mx - 233 109 62 37 (*Autor de correspondencia)

Resumen

El agua es un recurso crucial para la toma de decisiones en materia de su gestión y planeación a futuro; lo cual, se requiere de su reconocimiento a través de estudios de disponibilidad. Ante el aumento constante de demanda hídrica en los usos consuntivos y los efectos del cambio climático se generan importantes variaciones del volumen de agua superficial a través del tiempo. Para ello, es importante considerar los aspectos climáticos y demográficos para su análisis y proyección, plasmados en escenarios futuros que indiquen la prospectiva de los volúmenes de agua superficial, particularmente en la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta (RH-30). Para este trabajo de investigación, se basó a los lineamientos y especificaciones de la NOM-011-CONAGUA-2015, así como de las bases de datos de precipitación para la estimación de escurrimientos naturales, así como los censos poblacionales y los aprovechamientos superficiales existentes dentro de la RH-30. En donde, sólo una cuenca presenta con un déficit de disponibilidad en el año 2020 y 13 cuencas más en riesgo para el año 2034 adaptado a los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5.

Palabras claves: Aguas superficiales, NOM-011-CONAGUA-2015, escenarios de cambio climático.

Introducción

Disponibilidad de aguas superficiales

De acuerdo con Breña-Puyol y Breña-Naranjo (2017), uno de los instrumentos de mayor relevancia en la gestión de los recursos hídricos es estimar la disponibilidad del agua a partir de una cuenca hidrográfica; a partir de sus resultados, se podrán establecer los niveles de escasez o de abundancia del agua, asignar las demandas de consumo de agua requeridas, o llevar a cabo planeaciones a corto, mediano o largo plazo.

Datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2018), en el año 2017 se reportó un ingreso de 1,450 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitaciones de esta agua, 311 millones de metros cúbicos son captados a través de escurrimientos de ríos y arroyos. Considerando las exportaciones e importaciones con los países vecinos, se tiene un volumen total de 349 millones de metros cúbicos de agua renovable superficial.

Sin embargo, Sosa-Rodríguez (2017) agrega que, la distribución pluvial no es homogénea en términos de cobertura territorial y de temporalidad: el 77% de las lluvias se registran entre los meses de junio a octubre, concentradas principalmente en las regiones sur y sureste de nuestro país; en contraste, en las regiones centro y norte de nuestro país se tienen menores volúmenes de disponibilidad natural de agua dado a su condición climática predominantemente árido (Bunge, 2010).

Con la finalidad de dar cumplimiento con procedimientos y las reglas para el otorgamiento de concesiones especificados por la Ley de Aguas Nacionales, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 (DOF,2018); con base al principio de continuidad, la disponibilidad media anual de aguas superficiales (D) es el valor que resulta de la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo (A_b) y el volumen medio anual actual comprometido aguas abajo (R_{xy}); o bien, en términos matemáticos se expresa de la siguiente forma:

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

Para la estimar el valor de A_b , la ecuación 2 hace referencia al cálculo del balance de agua superficial; es decir, las variables positivas se tratan de los volúmenes que entran dentro de una cuenca, mientras que el resto de las variables con signo negativo, hacen énfasis a las cantidades de agua que salen de esa misma unidad de análisis (UNESCO, 2006).

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

Donde A_b es el volumen medio de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba; C_r , el volumen medio de escurrimiento natural; R_e , volumen de retornos; I_m , volumen de importaciones; E_v , volumen de exportaciones; U_c , volumen de extracciones de agua superficial; E_v , el volumen de evaporaciones en embalses y cuerpos de agua, y A_v es el volumen de variación de almacenamiento en embalses; de igual forma, la dinámica de estas variables se puede esquematizar en la figura 1. Es importante señalar que, todas las variables son de cobertura anual y los volúmenes se expresan en millones de metros cúbicos (Mm^3).

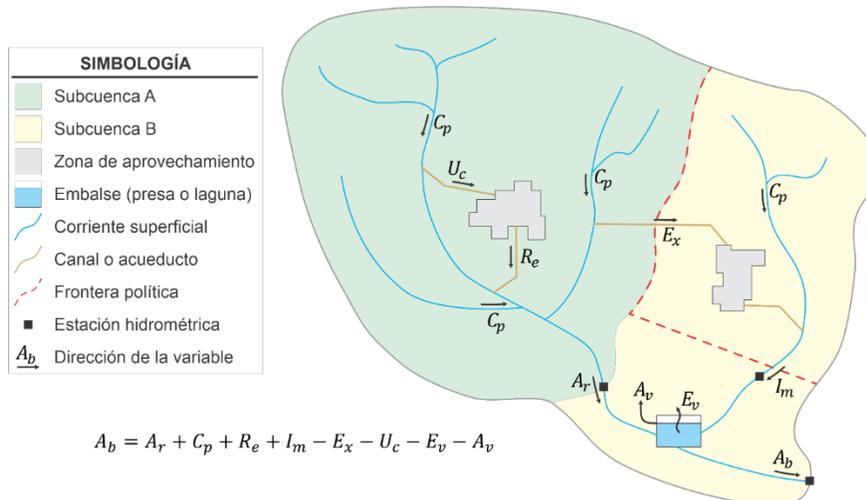


Figura 1. Dinámica de las variables de la ecuación 2 en una cuenca hidrológica

Escenarios de cambio climático

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 del mundo, con lo cual imponen desafíos importantes y cruciales para este siglo (Bretas et al., 2019).

El estudio de la variabilidad y el cambio climático requiere contar con información científica a nivel regional con el objetivo de identificar, diseñar y llevar a cabo acciones de mitigación y adaptación ante los posibles impactos de fenómenos hidrometeorológicos extremos. Una de las herramientas fundamentales para tal fin son los escenarios de cambio climático, (Salinas-Prieto et al., 2015).

Un escenario de cambio climático es una proyección a futuro del comportamiento del clima, tomando como base el clima actual y modificando algunas variables que intervienen en este. Son situaciones posibles que se pueden presentar en un futuro, existiendo una incertidumbre en relación con futuras emisiones de gases de efecto invernadero, la sensibilidad y los cambios del climáticos tanto regionales como globales (Suárez-Medina et al., 2016).



Una mención muy importante que hacen Fernández y colaboradores (2015), es que estos escenarios 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 adicional (por ejemplo, condiciones económicas que permiten el aumento de emisiones).

Para este trabajo de investigación, se enfocará exclusivamente en la región hidrológica número 30 Grijalva-Usumacinta (RH30), el cual cuenta con las disponibilidades más altas del país: alrededor de los 104 mil millones de metros cúbicos de agua renovable, casi el 23% del total nacional (CONAGUA, 2018) lo cual cuenta con un gran potencial para el desarrollo proyectos hidroeléctricos, por lo que se definió el año 2034 como año meta prospectiva, del cual se basa de acuerdo a los alcances del Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2020-2034.

Materiales y Métodos

Localización geográfica

De acuerdo con los recientes estudios técnicos de aguas (DOF, 2009, 2018) la región hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta tiene una extensión territorial de 103,044.08 kilómetros cuadrados. Geográficamente está comprendida entre los paralelos 15°15'32" y 18°38'54" de Latitud Norte y los meridianos 90°22'27" y 94°14'04" de Longitud Oeste.

Limita 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.

La integración territorial de la zona de estudio está compuesta de 83 cuencas hidrográficas, gran parte de estas cuencas se encuentran distribuidos entre los estados de Chiapas y de Tabasco, y en menor proporción en los estados de Campeche, Oaxaca y Veracruz (DOF, 2016); para una mejor identificación se hizo una subdivisión constituida en 5 subregiones. Todo lo descrito anteriormente se puede apreciar en la figura 1.

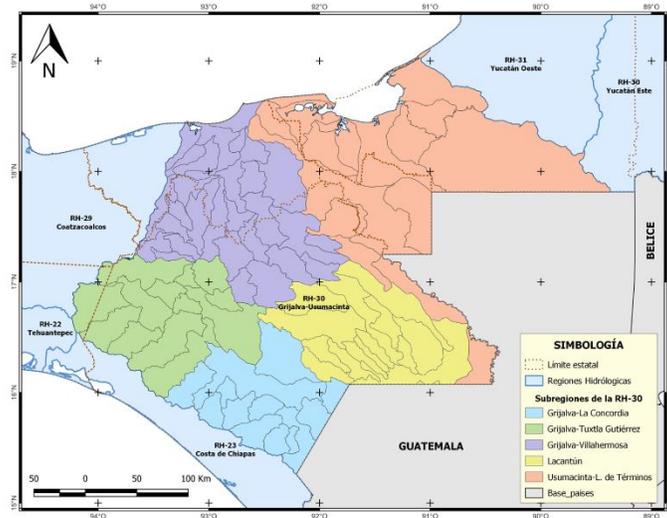


Figura 1. Subregiones de la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta

Análisis histórico de la precipitación a nivel cuenca

Para la construcción del escenario base histórico, se elaboró una base de datos conformado por registros históricos mensuales de precipitación acumulada dentro del período 1961-2020 proporcionados de las normales climatológicas del proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Sistema de Información Hidrológica (SIH).

Se consideraron las estaciones climatológicas situadas tanto dentro de la RH-30, así como las estaciones circundantes situadas a una distancia no mayor de los 100 kilómetros del parteaguas. De este conjunto, se seleccionó aquellas estaciones que cuenten al menos un acumulado de 20 años efectivos (cuyos registros cuenten con más del 80% de los datos del año, es decir, hasta dos meses de datos faltantes), los datos faltantes se compensaron incorporando con la media histórica del mes histórico correspondiente.

Una vez tenido con los registros pluviales, se hizo la identificación geográfica de cada estación efectiva incorporando la latitud y la longitud en grados decimales a la base de datos para su distribución espacial. Posteriormente para su análisis geoespacial realizando una interpolación de ponderación de distancia inversa (IDW, por sus siglas en inglés) generando un ráster con la distribución de lluvia de la zona de estudio (figura 1). Dicho geoprocetamiento se hizo a través de software SIG QGIS 3.20 Odense.

Determinación del volumen de escurrimientos naturales

Para la estimación del volumen medio de escurrimiento natural (C_p), se realizó conforme las especificaciones indicadas para el método indirecto establecido en el apéndice informativo A1.2 de la NOM-011-CONAGUA-2015 (DOF,2015) a través de la siguiente ecuación:

$$C_p = P * A * C_e \quad (3)$$

Donde, P es la precipitación anual ponderada en milímetros; A , el área de la cuenca en kilómetros cuadrados, y C_e es el coeficiente de escurrimiento de la cuenca, del cual se obtiene de la siguiente forma:

$$C_e = K \frac{P - 250}{2000} + \frac{K - 0.15}{1.5} \quad (4)$$

Continuando con el apéndice normativo, el valor del factor K hace referencia en cuanto al grado de permeabilidad conforme al tipo de suelo dominante, como se detalla en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Clasificación de los suelos de acuerdo su permeabilidad

Tipo de suelo	Especificaciones
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos; terrenos sin problemas de drenaje. Por ejemplo: Andosol, y Arenosol
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los suelos A; terrenos migajosos. Por ejemplo: Chernozem, Regosol y Umbrisol.
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable; terrenos arcillosos. Por ejemplo: Acrisol, Alisol, Calcisol, Cambisol, Leptosol, Luvisol Phaeozem, Planosol, Solonchak y Vertisol

Cuadro 2. Valores del parámetro K, según el tipo de vegetación y uso de suelo

Uso de suelo	Suelo permeable (A)	Suelo medianamente permeable (B)	Suelo impermeable (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
Bosque cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Bosque cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Bosque cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.30
Asentamientos humanos	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.30	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.30

Análisis histórico y tendencia al año 2034 de los usos consuntivos.

Para este rubro, se generó una segunda base de datos constituido por los títulos y permisos de aguas nacionales superficiales registrados en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) efectuados dentro de las cuencas que constituye la RH-30 entre los años 1994 y 2020, en donde se hizo un compendio sumando los valores de extracción anuales en función al año de concesionado y al tipo de uso de agua otorgado,



exceptuando los usos doméstico y público-urbano. Para los dos últimos usos consuntivos, se redefinió con la distribución poblacional a nivel localidad, que fueron proporcionados por los microdatos de los censos de población y vivienda realizados por INEGI en los años 2000, 2010 y 2020.

Prospectiva de la disponibilidad de agua superficial

Ya estimado los principales volúmenes de oferta (C_p) y de demanda (U_c), se procede con la estimación de resto de las variables que integran la ecuación 2. Para el caso de E_v , se estimó el volumen de evaporación histórica de las principales presas y lagunas existentes dentro de la RH-30, con base de los registros históricos mensuales de las normales climatológicas del SMN.

Para el caso de la estimación de R_e se realizó de acuerdo con los porcentajes definidos en la NOM-011-CONAGUA-2015, partiendo de los volúmenes de U_c . El resto de las variables E_x , I_m y A_v , son omitidos dado que su participación en el balance hídrico es casi nula (a excepción de I_m). Aplicando las ecuaciones 1 y 2, se hizo el cálculo de la disponibilidad media anual y se hizo una nueva reclasificación asignando cuatro zonas de disponibilidad (DOF, 2009) especificados en el siguiente cuadro (DOF, 2018):

Cuadro 3. Dotación de agua potable por habitante en cada subregión hidrológica

Zona de disponibilidad	Volumen medio anual de disponibilidad
Zona 1 (déficit)	Menor o igual a 1.4 Mm ³
Zona 2 (disponibilidad baja)	Menor o igual a 1.4 Mm ³ y menor o igual a 3.0 Mm ³
Zona 3 (disponibilidad media)	Menor o igual a 3.0 Mm ³ y menor o igual a 9.0 Mm ³
Zona 4 (disponibilidad alta)	Mayor a 0.8 Mm ³

Resultados y Discusión

Estimación del valor de C_p y E_v actual y su proyección al 2034

La base de datos histórico de precipitación está conformada por un compendio de 236 estaciones climatológicas desprendidas de las 439 estaciones que fueron descartadas. Al realizar el proceso de interpolación, se generó un ráster con la distribución de lluvia de la zona de estudio. Dicho geoprocesamiento se hizo a través de software SIG QGIS 3.20 Odense, del cual se hizo una recategorización fijando un intervalo de cada 100 mm de separación (figura 2), que van de los 850 mm a los 4 750 mm.

Los contornos de cada categoría fueron extraídos a modo de isoyetas, las cuales se plasmaron sobre una capa con la división de las 83 cuencas de la RH-30. Finalmente se estimó la precipitación media histórica de cada cuenca; para ello, se hizo empleó la media ponderada de cada polígono generado por los contornos entre isoyetas sobre la cuenca en turno. De esta manera se obtiene el valor de P , el cual será empleado para el cálculo de C_p .

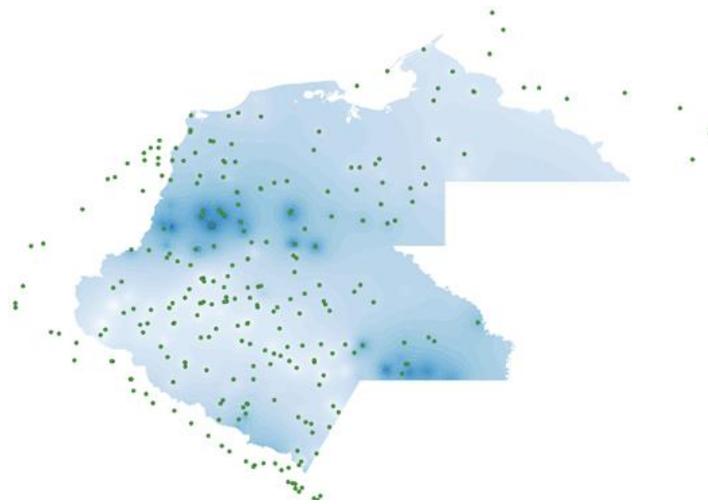


Figura 2. Distribución de la precipitación en el período 1961-2020 de la RH.30, a partir de las 236 estaciones climatológicas efectivas (puntos verdes).

La estimación para el valor de C_e , se hizo con el apoyo de los conjuntos de datos vectoriales de los temas de Edafología, Serie III y de Vegetación y Uso de Suelo, Serie V, proporcionados por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) desde su plataforma web. Ambas fuentes de información vectorial fueron proyectados e integrados en una sola capa en el programa SIG mencionado anteriormente.

Usando las tablas 1 y 2, se asignaron las características de acuerdo las especificaciones del tipo de suelo y de vegetación predominante definidos por INEGI a cada polígono. De la misma forma mencionada anteriormente, se plasmó sobre la subdivisión en cuencas de la RH-30, para posteriormente estimar el valor ponderado del factor K cuyo margen a de 0.07 a 0.33. A partir de lo anterior, se hizo el cálculo del valor de C_e aplicando la ecuación 4 y de los valores de P anteriormente, se precedió con la estimación el valor de C_p con la Ecuación 3 para cada una de las 83 cuencas que conforman a la RH-30 para el escenario base.

Para la proyección de C_p al año 2034, se consultó del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático UNAM (UINATMOS), se estimó el valor de precipitación anual al sumar todos los valores mensuales existentes, y se definieron los contornos de cada 100 milímetros, similar en la manera que se hace a través de los escurrimientos naturales superficiales especificado previamente. Esta información se obtuvo a partir del Sixth Assessment Report (AR6), Interactive Atlas (IPCC WGI Interactive Atlas).

Dicha fuente, se consideraron los escenarios con las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) 4.5 Y 8.5 proyectadas al horizonte cercano para los años 2021-2040, dado que el año 2034 se encuentra dentro de dicho margen de tiempo. Siguiendo la misma metodología realizado para el análisis histórico de la precipitación distribuidas en forma de isoyetas, cuyo valor representa al valor prospectivo futuro de P y posteriormente el valor de C_p para el año 2034.

Para el caso de E_v , se estimó el volumen de evaporación histórica de los seis principales presas y lagunas existentes dentro de la RH-30 cuyas superficies (cuadro 4) fueron multiplicados con el promedio histórico de evaporación y su tendencia lineal al año 2034.

Este parámetro se obtuvo de la base con los registros históricos mensuales de las normales climatológicas del SMN de aquellas estaciones climatológicas cercanos a los cuerpos de agua, siguiendo los mismos criterios de selección de estaciones efectivas ya mencionados.

Cuadro 4. Principales cuerpos de agua en la RH-30

Cuerpo de agua	Superficie (Km ²)
Presa La Angostura	472.933
Presa Chicoasén	16.027
Presa Malpaso	263.604
Presa Peñitas	37.658
Presa El Portillo II	5.243
Laguna Miramar	20.106

Estimación del valor de las variables U_c y R_e actual y su proyección al 2034

Para estimar la cantidad de agua que fue extraída en cada año, se hizo la sumatoria acumulada de cada cuenca de cada uno de los principales usos consuntivos asignados y se almacenaron en una base de datos, para el caso de los uso público-urbano se estimó la cantidad de habitantes, los cuales fueron obtenidos de cada censo poblacional así como su ubicación geoespacial el cual se hizo una sumatoria de toda la población situada dentro de las 85 cuenca de la RH-30 y se multiplicó por la dotación asignada. Dichas dotaciones, se obtuvieron a través del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), en donde se regionalizó entre las 5 subregiones que integran la RH-30, cuyos valores se detallan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Dotación de agua potable por habitante en cada subregión hidrológica

Subregión hidrológica	Dotación (m ³ /habitante/año)
Grijalva - La Concordia	289.683
Grijalva- Tuxtla Gutiérrez	227.909
Grijalva – Villahermosa	244.280
Lacantún	282.466
Usumacinta – L. de Términos	232.748

Ya definido los valores de la segunda base de datos, se hizo la sumatoria acumulada anual en función al tipo de uso consuntivo, para su posterior proyección lineal y definir la tendencia hacia el 2034 de cada uso a partir de los tres censos recabados. Estos volúmenes correspondientes al sector público urbano, se le agregan a la base de datos el resto de los usos consuntivos registrados en el REPDA sumando los volúmenes de aprovechamiento por uso a nivel cuenca.

A partir de estas sumatorias, se hizo el cálculo de volumen de retornos (R_e) asignado el correspondiente porcentaje de cada uso (cuadro 6) especificados en la NOM-011-CONAGUA-2015. La suma total de los volúmenes extraídos de dichos usos en cada cuenca correspondiente a la variable U_c

Cuadro 6. Porcentajes de retornos de acuerdo con el tipo de uso consuntivo.

Uso consuntivo	Porcentaje
Agrícola	20
Público-Urbano	75
Industrial	55
Doméstico	75
Pecuario	15
Acuacultura y Hidroeléctrico	100

Consideraciones para el resto de las variables

El resto de las variables E_x y A_v , son omitidos dado que su participación en el balance hídrico es casi nula. Para el caso de I_m sólo se aplicó a aquellas cuencas cuyos escurrimientos provienen de la República de Guatemala, las cuales se estimaron a partir de un valor medio recabado por las estaciones hidrométricas situadas aguas debajo de la frontera, las estaciones consultadas para cada cuenca fronteriza se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Volúmenes de agua importados desde Guatemala

Cuenca fronteriza	Estación hidrométrica consultada	Volumen medio Importado (Mm ³)
Lagartero	Aquespala	804.26
Selegua	El Salvador	1 401.57
San Miguel	Argelia	1 678.49
Ixcán	Ixcán	6 448.18
Ghajul	Chajul	3 158.36
Lacantún	Agua Verde	8 676.35
San Pedro	San Pedro Tabasco	1 548.08
Chixoy	El Tigre	30 707.95
Alto Canderlaria	Candelaria	1,817.70

La estimación del volumen se hizo estimando el gasto medio registrado por cada estación hidrométrica en el SIH y extrapolarlo a un flujo por un año. De este valor sólo se sustrae el volumen de escurrimiento natural (C_p) de la cuenca en turno quedando el excedente representado a I_m . Dado que los valores son muy variables a través del tiempo, se consideró este valor como constante para su proyección para el año 2030.

Estimación y proyección de la disponibilidad en la RH-30

Ya definidos las variables mencionadas en los apartados anteriores, se procedió el cálculo de la disponibilidad (D) aplicando la ecuación 2 y aplicando la categorización en función a las especificaciones del cuadro 3 para el escenario base en el 2020 y de los dos escenarios de cambio climáticos RCP4.5 y RCP 8.5 proyectados al año 2034, cuya



evolución de manera cartográfica se ilustra en la figura 3. En donde, los colores verdes, amarillo, anaranjado y rojo hacen referencia correspondientemente a las zonas de déficit, baja, media y alta disponibilidad.

Conclusiones

Haciendo hincapié a los resultados comparativos de la figura 2, podemos observar que con el paso del tiempo hacia al 2034 la disponibilidad tiende a disminuirse de manera progresiva. Al inicio, para el escenario actual, sólo se tiene de una sola cuenca con el nombre de Tuxtla Gutiérrez, el cual, alberga el centro poblacional homónimo más importante dentro de la RH-30 y dado por el aumento considerable de la población en esa cuenca la oferta es rebasada por la oferta de escurrimientos disponibles, obedeciendo la importación de otras fuentes hídricas provenientes de otras cuencas aledañas.

Para de escenario RCP 4.5, se observa que aumentó considerablemente el número de cuencas con riesgo de presentar bajas cantidades de disponibilidad, especialmente en la zona sur de la RH30, sobre todo en las subregiones Grijalva-La Concordia y Grijalva-Tuxtla Gutiérrez en donde albergan los tres distritos de riego (059 Río Blanco, 101 Cuxtepeques y 107 San Gregorio), cuyas demandas de riego han estado incrementado en los últimos años, sumando a que la región presenta una disminución de la precipitación derivado de los escenarios de cambio climático, haciendo que el volumen de escurrimientos tienda a disminuirse de la misma forma.

Con este tipo de diagnósticos permite tener un acercamiento en la identificación de aquellas cuencas que tengan la potencialidad en presentar un déficit a un cierto período en particular, permitiendo tener un amplio panorama para la toma de decisiones en materia de gestión de los recursos hídricos tanto para su conservación como su preservación a futuro.

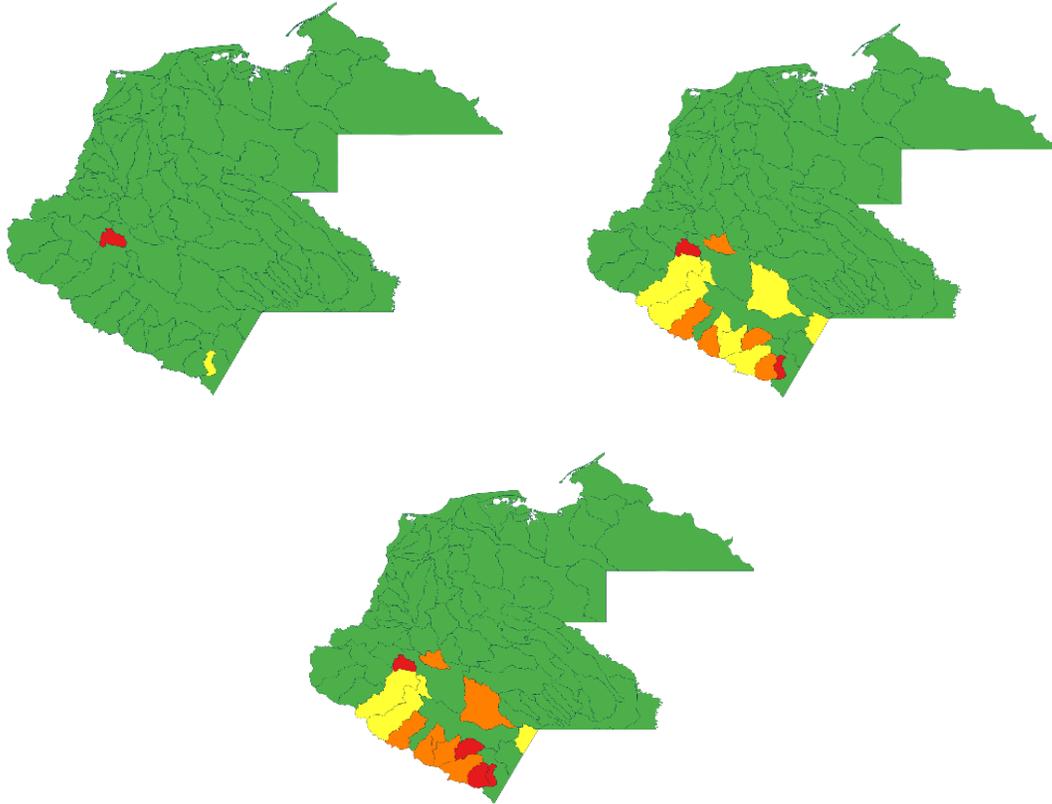


Figura 3. Mapa de las zonas de disponibilidad del escenario base (arriba), del escenario RCP45 (centro) y RCP84 (abajo)

Referencias Bibliográficas

- 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. <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). CONAGUA. (2018). Estadísticas del agua en México, Edición 2018.
- DOF. (2009). ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Alto Río Candelaria y Bajo Río Candelaria, mismas que forman parte de la subregión hidrológica denominada Río



Candelaria de la región hidrológica número 30 Grijalva-Usumacinta. Diario Oficial de la Nación, 9.

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, 14.

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, 122.

DOF. (2018). 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, 35.

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, 63.

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.

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.

UNESCO. (2006). Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. Documento técnico del PHI-LAC, N° 4.