



Universidad Autónoma del Estado de México  
Facultad de Geografía



Especialidad en Cartografía Automatizada, Teledetección y  
Sistemas de Información Geográfica

*Balance hídrosocial de la cuenca Río Alto Amacuzac y el impacto  
actual del Corredor Florícola Mexiquense en la distribución y  
disponibilidad hídrica en los municipios de la región: un enfoque de  
acceso social al recurso*

Proyecto terminal que presenta

**Sergio Ramírez Cárdenas**

Para obtener el diploma de:

Especialista en Cartografía Automatizada, Teledetección y  
Sistemas de Información Geográfica

*Egresado de la promoción 27<sup>a</sup>*

Dr. Juan Campos Alanis  
Tutor

Toluca, México, junio 2023

1.	<i>Introducción</i>	1
1.1.	<i>Planteamiento del Problema</i>	2
1.2.	Descripción territorial de la región	4
1.3.	<i>Justificación</i>	8
1.4.	<i>Antecedentes</i>	10
1.5.	<i>Planteamiento del problema de investigación</i>	13
1.6.	<i>Objetivos</i>	13
1.6.1	Objetivo general	13
1.6.2	Objetivos particulares	13
2.1.	<i>Marco teórico metodológico</i>	14
2.2.1	Balance hídrico de la cuenca	14
2.2.2	Descripción del modelo de balance hídrico y sus componentes	14
2.2.3	Delimitación de una cuenca hidrográfica	17
2.2.4	Cálculo de la precipitación	17
2.2.5	Cálculo de la evapotranspiración	19
2.2.6	Evaluación del escurrimiento en una cuenca	20
2.2.7	Cálculo para el volumen de infiltración de una cuenca	22
2.2.8	El aprovechamiento antropogénico del agua	23
2.2.8.1	Cuantificación del UC antrópico de aguas superficiales y subterráneas	24
	<i>Metodología utilizada para el balance hidrosocial de la cuenca</i>	
3.1	<i>del Río Alto Amacuzac (RAA)</i>	27

3.2	Delimitación de la cuenca del Río Alto Amacuzac	29
3.3	Estimación de la precipitación en la cuenca del Río Alto Amacuzac	31
3.4	Creación de polígonos de Thiessen (área de influencia por estación meteorológicas)	34
3.5	Hydroclimatología de la cuenca Río Alto Amacuzac	37
3.6	Consumo hídrico antropogénico de la cuenca Río Alto Amacuzac	46
3.7	Composición demográfica de la cuenca Río Alto Amacuzac	53
3.8	Zonificación de áreas de estrés hídrico natural y de acceso al agua por parte de la población de la cuenca del Río Alto Amacuzac	57
4.1	<i>Resultados</i>	60
4.2	Sustentabilidad y estrés hídrico de Falkenmark en la cuenca del Río Alto Amacuzac	60
5.1	<i>Conclusiones</i>	68
6.1	<i>Bibliografía</i>	72
7,1.	<i>Anexos</i>	77

# 1. Introducción

El presente documento analizó la problemática territorial en el Corredor Florícola Mexiquense (CFM) y su contextualización en la cuenca del río Alto Amacuzac, como unidad geográfica de análisis hidrológico. Esta región presenta un panorama hídrico particular debido a la creciente presión de las actividades productivas y al crecimiento demográfico. Para abordar esta problemática, se emplearon herramientas y técnicas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La actividad florícola en la región sur del Estado de México, principalmente concentrada en los municipios de Coatepec de H. Villa Guerrero y Tenancingo, experimentó una expansión territorial significativa en los últimos 20 años. Este crecimiento fue impulsado por la implementación de sistemas productivos de agricultura intensiva del tipo protegida, los cuales se caracterizan por un alto nivel de demanda de inversión, insumos y recursos. Es importante resaltar que la actividad florícola regional es de producción continua, implicando una constante necesidad de agua de riego para satisfacer sus requerimientos productivos.

La preponderancia de la actividad económica florícola en la región y su potencial expansión podrían situar a la población local en una competencia por el recurso hídrico regional. Esta situación, junto con la tendencia de crecimiento demográfico de la región, puede exacerbar la problemática local respecto al agua. En este contexto, el análisis de la cuenca del río Alto Amacuzac se perfila como una base primordial para la caracterización de los procesos hidrológicos o hidrosociales, tanto de las actividades productivas como del consumo para abastecimiento público, en cualquiera de las subregiones de la cuenca. Los procesos de carácter hidrológico no se sujetan a delimitaciones político-administrativas, por lo que el estudio de estos fenómenos requiere del análisis de unidades espaciales delimitadas por el fenómeno de estudio, en este caso los recursos hídricos.

Por lo tanto, este proyecto se propuso obtener y procesar información para establecer la condición de los recursos hídricos de la cuenca mencionada. De esta manera, se pudo dimensionar la influencia de la actividad agrícola y por extensión la florícola en el acceso actual y prospectivo al agua de consumo humano de la población local, esto principalmente en términos de sustentabilidad hidrosocial.

Lo que implicó establecer a) el consumo hídrico de la actividad agrícola local, b) el acceso al agua para consumo humano por parte de la población del territorio, c) la dinámica de disponibilidad y/o demanda del recurso en la cuenca, d) la existencia de zonas de riesgo de estrés hídrico por la asimetría entre disponibilidad natural y demanda antrópica del recurso y e) describir el ciclo hidrosocial de la cuenca. Para lo anterior, se tomó como premisa que “El agua es un actor social y multidimensional, y su disponibilidad está condicionada por factores sociales y naturales... Por (esta) razón es que debemos atender, no solo los condicionantes físicos, como hace el ciclo natural del agua, sino también los condicionantes humanos, como hace el ciclo hidrosocial” (Simón y Aravena, 2020).

### 1.1.Planteamiento del problema

El Estado de México es la región con la mayor producción agrícola de mercancías ornamentales a nivel nacional, con un 62.4%, muy por encima de la siguiente posición en volumen de producción (Puebla con 14.5%). Aunque la producción ornamental comercial del Estado de México se reporta en al menos 10 municipios de la región sur, el desarrollo de esta actividad comercial se caracteriza por una alta concentración espacial en los municipios aledaños de Villa Guerrero (54.03%), Tenancingo (17.62%) y Coatepec de Harinas (14.09%). Estos representan en su conjunto la principal área de desenvolvimiento de este tipo de producción agrícola, no solo a nivel estatal sino nacional (Ramírez, 2018, p.1067a).

El elevado nivel de concentración de esta actividad productiva derivó en el llamado Corredor Florícola Mexiquense (CFM), compuesto por el aglutinamiento de sistemas productivos, principalmente de agricultura protegida en diferentes niveles de tecnificación. Este proceso es claramente apreciable desde imágenes aéreas, ya que se trata de un fenómeno que pudo ser identificado por un conjunto de manchas de rectángulos degradados que van de blancos a grises oscuros. La conglomeración de mayor tamaño se encuentra en el conjunto de espacios productivos constituidos por áreas agrícolas de los municipios de Villa Guerrero y Tenancingo, siendo el primero el que representa la principal mancha visible de dicho fenómeno. Un tanto aparte y quedando geográficamente separado, Coatepec de Harinas representaba una zona productiva con características territoriales similares.

La producción agrícola de ornamentales en la zona del llamado CFM se encuentra caracterizada por una fuerte composición de agricultura protegida. Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2016), de la superficie con actividad agrícola reportada en cada uno de los tres municipios, en Villa Guerrero predominan ampliamente los sistemas de agricultura protegida, con un 67.5% de dicha superficie en algún grado de tecnología de agricultura protegida. Las proporciones para Tenancingo (29.12%) y Coatepec de Harinas (39.2%) son menos significativas, ya que en estos dos últimos municipios la agricultura a campo abierto tiene preponderancia.

En el caso de Villa Guerrero, se estima que el uso de sistemas tecnológicos de agricultura protegida, en la modalidad bajo invernadero para la actividad florícola local, ronda el 62.15% respecto a otros tipos de sistemas de agricultura. Por tanto, la producción bajo invernadero como sistema de agricultura protegida predomina claramente en la zona, muy por encima de otras opciones como: casa sombra, macrotúnel, microtúnel, entre otros. Esto permite inferir un alto nivel de inversión en la actividad agrícola del municipio, ya que dichos sistemas pueden alcanzar costos base de alrededor de 4 millones de pesos por hectárea, para el caso de invernaderos con bajo nivel tecnológico (FIRA, 2011, p13), con qué sugiere una fuerte actividad económica regional ligada a la agricultura.

El dominio de instalaciones agrícolas de tipo invernadero en el municipio de Villa Guerrero, además del valor monetario que representan (67.17% del valor de la producción florícola de la región completa, de acuerdo con Ramírez y Avitia, 2018, p388a), permitió plantearse que en este municipio se desarrolla una modalidad altamente intensiva de producción de especies ornamentales, fuertemente demandante de recursos hídricos. Esto sugiere que esta zona es altamente prioritaria para su estudio, respecto de la disponibilidad y consumo de los recursos hídricos locales y su influencia en la cuenca.

El municipio de Villa Guerrero es el sitio de mayor actividad florícola no solo de la región, sino del país. Esto, aunado a su alto valor comercial e importancia económica para los habitantes del municipio, derivó en un alto ritmo de expansión de la actividad en general y de la superficie dedicada al ramo, así como de los recursos hídricos de la zona usados para tal fin. Este proceso de crecimiento fue el detonante para el planteamiento del presente proyecto que, a partir del proceso de expansión de producción florícola consabido en la

región, busca comprender la relación entre las actividades agrícolas y los recursos hidrosociales de la cuenca.

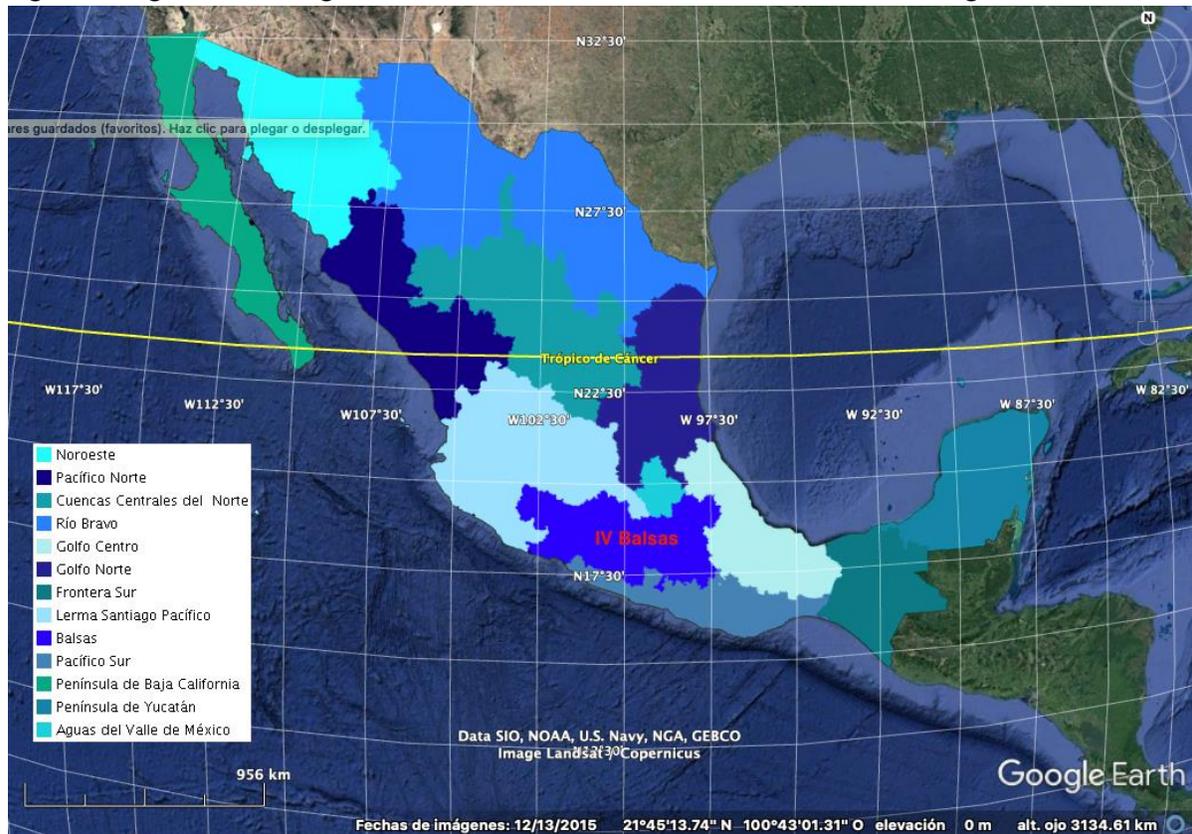
En este contexto, el proyecto busca cuantificar la correlación de la actividad agrícola con el grado de acceso al agua por parte de la población local. Cabe mencionar que, la segmentación territorial en municipios de interés responde a dinámicas productivas y económicas, lo que implicaba patrones antrópicos de desarrollo. En tal sentido, la unidad de estudio seleccionada originalmente era municipal, buscando entender la problemática hídrica local y su influencia sobre la población.

Sin embargo, dado que los fenómenos hidrológicos no responden a demarcaciones jurisdiccionales, se eligió la cuenca (río Alto Amacuzac) como la unidad geográfica de estudio de los recursos hídricos. De esta manera, el análisis a dicha escala permite contextualizar la dinámica del uso y disponibilidad del agua en la totalidad del territorio de la cuenca, posibilitando establecer una correlación con este proceso hídrico natural y la dependencia de los municipios sobre estos recursos en el ciclo hidrosocial del agua en la cuenca. Permitiendo de esta manera, en primer lugar, establecer la condición de sustentabilidad o insustentabilidad de los recursos hídricos para diferentes zonas de la cuenca y en segundo lugar determinar zonas en donde la población habitante se encuentre en una condición desfavorable respecto a la disponibilidad de recursos hidrosociales en su región.

## 1.2. Descripción territorial de la región

La zona conocida como CFM, región que dio lugar al presente estudio, dada su problemática local, se sitúa dentro de la región hidrológica administrativa IV Balsas (Figura 1), la cual abarca aproximadamente 119,247 km<sup>2</sup>. Dicha región comparte la mayor parte de su espacio con la región hidrológica del río Balsas, la cual está delimitada entre el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur, también referida como la Depresión del Balsas. Los ríos más relevantes en esta región son el Atoyac, el Nexapa, el Cutzamala y el Amacuzac. Este último es el cauce principal de la cuenca hidrológica del río Grande de Amacuzac y subcuenca hidrológica Progreso-Huautla, en cuyo territorio se localiza la cuenca hidrográfica del río Alto Amacuzac, siendo esta el área de estudio, dada condición de ser la unidad territorial hídrica mínima identificada que incluye a los tres municipios principales con actividad florícola de interés (CONABIO, 2008).

Figura 1: Regiones Hidrológicas administrativas de México, identificación de la región IV Balsas.



Fuente: CONABIO (2008), visualizado en el software Google Earth Pro.

En la macroregión del río Balsas, la carga de consumo de recursos hídricos está determinada por diversos factores, entre ellos la población que la habita. Según CONAGUA (2010), esta población alcanzaba aproximadamente los 10.58 millones de habitantes, distribuidos en 442 municipios a lo largo de 7 estados. Adicionalmente, esta región está influenciada por el consumo hídrico de actividades como la agricultura, la ganadería y la industria. En tal contexto, la región es considerada una de las tres principales regiones hidrológicas sobreexplotadas en el país.

A pesar de que la región hidrológica del río Balsas cuenta con un gran número de acuíferos (47) y otros recursos hídricos, una parte de estos se considera actualmente en sobreexplotación. Por lo que, es importante destacar que, aunque esta región posee una disponibilidad media natural hídrica de 21,680 millones de m<sup>3</sup>/año y una disponibilidad media natural per cápita de 2,049 m<sup>3</sup>/hab/año (CONAGUA, 2010), lo que la institución considera como una buena disponibilidad per cápita (Cuadro 1), estos números representan una extensión territorial muy grande por lo que la estimación de disponibilidad de recursos

hídricos per cápita reportados puede encontrarse sobreestimada, pues el comportamiento hidroclimático a lo largo de dicha cuenca no es uniforme, lo que implica contextos hidrosociales diversos.

Cuadro 1: Clasificación de la disponibilidad Natural media per cápita anual del agua según CONAGUA.

<b>Disponibilidad natural media per cápita m<sup>3</sup>/hab/año</b>	<b>Clasificación</b>
Menor a 1 000	Extremadamente baja
1 001 a 2 000	Muy baja
2 001 a 5 000	Baja
5 001 a 10 000	Media
10 001 a 20 000	Alta
Más de 20 000	Muy alta

Fuente: Estadísticas del agua en México (CONAGUA, 2008).

Aunque el balance del recurso hídrico en la cuenca hidrológica del río Balsas parece positivo en términos de disponibilidad per cápita, la disponibilidad antes mencionada ya se encuentra en una condición de disponibilidad baja, según la clasificación de CONAGUA. Por lo cual, es crucial considerar que del agua pluvial que ingresa a la región, aproximadamente el 73.2% retorna a la atmósfera mediante procesos de evapotranspiración, y tan sólo el 21.1% fluye superficialmente a lo largo de la cuenca hidrográfica, permitiendo un cierto grado de aprovechamiento, y únicamente el 4.7% se infiltra a los acuíferos locales (CONAGUA, 2010). Esto implica que, de la disponibilidad media natural, solo una pequeña fracción se deposita en reservorios permanentes del recurso (acuíferos), siendo estos una de las principales fuentes de aprovechamiento humano.

Además de lo anterior, el incremento constante en la demanda de agua por parte de los diferentes sectores de la actividad humana a lo largo del territorio, ejercen una presión sobre el recurso, la cual se situaba en un 49.4% para 2010, con respecto a la disponibilidad media de los recursos hídricos de la cuenca hidrológica del Balsas. De acuerdo con la metodología de "Presión de los recursos hídricos" de la Comisión de Desarrollo Sustentable de la Organización de Naciones Unidas (ONU), este porcentaje la sitúa en la categoría de presión fuerte. En 2010 se reportaron concesiones de uso público y/o privado de agua dentro de la cuenca de 10,703 millones de m<sup>3</sup>, lo que representa dicho 49.4% del total de la disponibilidad media de la región (CONAGUA, 2010).

Aunque en la actualidad la región del Balsas, donde se encuentran la subcuenca del río Alto Amacuzac, todavía reporta una disponibilidad positiva de agua per cápita, esta condición coexiste con un alto grado de presión de explotación de los recursos hídricos. Esta presión presenta una tendencia a incrementarse, dado el crecimiento demográfico y la expansión de las actividades económicas y sociales inherentes al mismo, lo que consecuentemente puede derivar en la disminución de la disponibilidad para el consumo humano o la explotación insustentable de los recursos hídricos locales.

En tal contexto, el presente trabajo se enfoca en indagar en la realidad actual de la subcuenca del río Alto Amacuzac y en zonificar las unidades hidrológicas y administrativas de mayor susceptibilidad ante la actividad agrícola y antrópica en general en la región, con respecto a la disponibilidad y acceso al agua por parte de la población local. Para esto, se recurre al uso de las geotecnologías, como herramienta de análisis territorial, las cuales facilitan el procesamiento tanto de las variables ambientales, hidroclimáticas y geomorfológicas, así como las de uso de suelo, demográficas y de dinámicas sociales de consumo hídrico.

### 1.3. Justificación

La problemática central de este proyecto es el acceso al agua por parte de la población de la cuenca del río Alto Amacuzac, así como la influencia que la expansión de la actividad agrícola tiene en la degradación de estos recursos en la región, en términos de disponibilidad y acceso. Según Ramos (2022), en la región del CFM existen conflictos en torno al uso legal e ilegal del agua, los cuales están directamente influenciados por los intereses comerciales de la actividad florícola local. Estas disputas han derivado en manifestaciones y bloqueos públicos por parte de habitantes de las comunidades de la región que alegan estar siendo afectados en su acceso al agua por los actores involucrados en dicha actividad económica.

En este contexto, es crucial llevar a cabo los esfuerzos profesionales necesarios para estudiar las problemáticas territoriales de la región, las cuales requieren de un análisis científico que establezca con la mayor precisión posible los procesos y fenómenos que se presentan en contextos tan complejos, los cuales no son comprensibles mediante la observación directa solamente. La problemática existente en el entorno regional de la cuenca del río Alto Amacuzac no cuenta con antecedentes de estudios que la aborden, por lo que la temática del presente estudio representa una oportunidad invaluable para generar nueva información sobre los procesos locales, y potencialmente servir como una herramienta útil para la toma de decisiones por parte de los actores involucrados.

Este trabajo tiene como propósito clarificar el impacto de la actividad antrópica y en particular la agrícola, en la disponibilidad al agua para uso humano por parte de la población de la cuenca. Para ello, se plantea indagar en las fuentes de información especializadas, referentes a los procesos involucrados en la problemática local, con el fin de determinar el grado de interacción entre dichos elementos. De este modo, se espera correlacionar la actividad agrícola regional y el grado de disponibilidad de la población local al agua de Uso Consuntivo (UC), principalmente de abastecimiento público, esto en primer lugar, sobre la situación actual del recurso, y en un segundo lugar, con una perspectiva analítica de la sustentabilidad hidrosocial regional.

Este proyecto recurrió a la existencia de bases de datos territoriales sobre recursos hídricos, registros climatológicos, capas vectoriales de usos de suelo y otras fuentes de información relacionadas con elementos sociodemográficos asociados al agua. No obstante, también se

tomó en consideración el gran reto que supone la integración de tan diversas fuentes de información mencionadas, dado que, en el país, la mayoría de este tipo de información se encuentra dispersa en múltiples dependencias y sistemas de consulta no integrados o de acceso restringido, de este modo, el presente documento de investigación, aspira a ser una referencia metodológica y de fuentes de datos para otros proyectos que busquen abordar temáticas de tipo hidrosocial en México.

En consonancia con lo anterior, el presente proyecto se propone alinearse con las metas trazadas por los Programas Nacionales Estratégicos del Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCyT), concretamente en lo que respecta a los desafíos vinculados a la hidrología. Este esfuerzo tiene el propósito de aportar respuestas a cuestiones críticas tales como: "¿Cuál es la naturaleza de la interacción entre las aguas subterráneas, las superficiales y los socioecosistemas?", y "¿Cómo podemos mejorar la administración de los recursos hídricos y evolucionar la normatividad a niveles local, regional y nacional?".

De este modo, la metodología adoptada y el manejo de bases de datos especializadas permiten que este estudio se consolide como un recurso consultivo de importancia en el ámbito hídrico. Esto contribuye a la resolución de los problemas planteados por el Programa Nacional Estratégico de Agua (Pronaces, AGUA), reforzando la capacidad técnica para hacer frente a las cuestiones nacionales emergentes, particularmente en vista del incremento de conflictos socio-hidrológicos.

Además, el estudio contribuye mediante a la difusión de contenido técnico y científico, respecto al empleo de fuentes de información relacionadas con los temas hidrosociales. La consolidación de este tipo de recursos no solo fomenta una mayor comprensión de los desafíos hídricos, sino que también promueve el avance de nuevas estrategias y enfoques de soluciones para la toma de decisiones a nivel de políticas públicas.

## 1.4. Antecedentes

La temática del agua, su aprovechamiento, escasez y disponibilidad, es actualmente de alta prioridad para la mayoría de los gobiernos del mundo. A nivel internacional, la meta 7.C de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, según la ONU (2015), reporta que el porcentaje de la población mundial con acceso al agua ha pasado del 76% al 91% durante el periodo 1990-2015. A pesar de que este progreso es significativo, la misma organización indica que aún quedan 663 millones de personas sin acceso al agua y en una situación especialmente vulnerable.

Es importante recordar que la disponibilidad de agua para el ser humano juega un papel vital en el desarrollo de su quehacer cotidiano. Desde siempre, el auge civilizatorio de la humanidad se ha encontrado ligado a fuentes de agua. En la actualidad, se sabe que el nivel de acceso al agua potable está íntimamente relacionado con una menor esperanza de vida y una mayor mortalidad infantil, especialmente en países con bajo nivel de ingreso y alta vulnerabilidad alimentaria (María, 2017).

En América Latina, la situación es especialmente compleja. Se estima que alrededor de 65 millones de habitantes rurales no tienen acceso al agua potable, a pesar de que la región cuenta con aproximadamente un tercio del agua para consumo humano en el mundo. Este dato sugiere que el acceso al agua no se relaciona únicamente con la existencia misma del recurso, y que otros factores, como los políticos, económicos y tecnológicos, desempeñan un papel fundamental.

En un nivel psicosocial, la disponibilidad de agua en poblaciones vulnerables marca un punto de inflexión para el bienestar general y la salud de las personas. Según un estudio econométrico que evaluó el bienestar subjetivo de la población en 131 países, se encontró que el 59% de las variaciones en los niveles de bienestar están intrínsecamente ligadas al acceso al agua y los ciclos hidrosociales (Briseño y Estefani, 2019). La inestabilidad en la disponibilidad del recurso afecta a la población en múltiples niveles.

A nivel global, se menciona que para el año 2000, alrededor del 8% de la población vivía en regiones con algún grado de estrés hídrico o escasez de agua (WWAP, 2009). Esta condición, proyectada para el año 2030, se estima que llegará al 47%, siempre que se mantengan las

tendencias actuales en la explotación del agua y los factores climáticos. La anterior consideración de estrés hídrico, en términos de acceso al agua, se encuentra fundamentada en las categorías propuestas por Falkenmark (Cuadro 2), el cual considera el consumo per cápita, la población por país o superficie y la disponibilidad de recursos hídricos para establecer cuántas personas puede soportar un área determinada según los recursos hídricos existentes (McCarthy y otros en Chamba, Massa y Fries, 2019).

Cuadro 2: Categorías de estrés hídrico de Falkenmark, en m<sup>3</sup> per cápita por año.

<b>m3 per cápita</b>	<b>Categoría</b>
<b>&gt; 1700</b>	Sin estrés
<b>1000 – 1700</b>	Estrés
<b>500 – 1000</b>	Escasez
<b>&lt; 500</b>	Escasez absoluta

Fuente: Blanco (2017, pp40).

El fenómeno de estrés hídrico en diversas regiones del mundo se ha intensificado, en parte debido a la sobreexplotación y contaminación de las fuentes de agua. Este problema se ve exacerbado por la interrupción del ciclo hidrosocial, que reduce la disponibilidad de agua para el uso humano o de abastecimiento público y otros usos antrópicos, al no permitir la reincorporación de grandes cantidades de agua al ciclo natural debido a la contaminación. Según estudios de caso enfocados en la calidad de las aguas residuales de ríos y otras fuentes contaminadas, se encontró que los niveles de conductividad eléctrica, alcalinidad y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) pueden encontrarse hasta 17, 11 y 22 veces, respectivamente, por encima de los valores máximos recomendados para su uso (Ortega et al., 2021). Esto potencialmente contribuye a agravar el estrés hídrico en las áreas cercanas a los grandes centros poblacionales.

En México, por ejemplo, Pérez et al. (2019) reportaron que el río Lerma está sujeto a varios grados de restricción de uso debido a altos riesgos de toxicidad por diversos iones presentes en el agua (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>3</sub><sup>4-</sup>, B<sub>3</sub><sup>+</sup>, CL<sup>-</sup>). Esta situación se ve agravada por un alto coeficiente de variación, indicativo de una marcada heterogeneidad de los contaminantes, correlacionado fuertemente con la distribución de los sitios de descarga de aguas residuales, predominantemente provenientes de centros urbanos. Esto se debe, en gran medida, a que las fuentes de contaminación son en su mayoría aguas residuales domésticas de los grandes asentamientos poblacionales del centro del país.

A pesar de que México se encuentra, en términos generales, en una situación privilegiada en cuanto a recursos hídricos (Vázquez et al., 2018), la contaminación, la sobreexplotación y el cambio en los ciclos hidrológicos han tenido un impacto severo en estos recursos. De acuerdo con la investigación realizada por Vázquez, para el 2018 México contaba con 5 mil m<sup>3</sup> de agua per cápita al año a nivel nacional, lo que representa un nivel muy favorable según la categoría de Falkenmark. Sin embargo, este promedio nacional oculta la variabilidad regional. Tal como señala Aldama (citado en Gil et al., 2014), "en algunas cuencas hidrográficas del país, como la del Valle de México, la disponibilidad de agua es al menos cinco veces inferior al promedio mundial".

Las regiones hidrológico-administrativas se utilizan en México como la principal unidad de medición de los recursos hídricos para evaluar disponibilidad, recarga, entre otros aspectos. Dicha distribución es altamente heterogénea a lo largo del país. En el caso de la región IV Balsas (donde se encuentra el área de estudio) CONAGUA (2010; 2018) reportó una disponibilidad per cápita de agua de 2,049 m<sup>3</sup>/hab/año en 2010, correspondiendo esto a la categoría de "Sin estrés hídrico" según Falkenmark. Sin embargo, para 2018, la disponibilidad disminuyó a 1,799 m<sup>3</sup>/hab/año, apenas 100 m<sup>3</sup>/hab/año por encima de la categoría de "Estrés hídrico" en la misma escala, lo que sugiere un alto riesgo para los habitantes de la región.

Para concluir esta sección, y tomando en cuenta lo que señalan Hernández y García (2020) en relación a los estudios sobre el acceso al agua, es importante reconocer que la problemática abarca múltiples dimensiones e involucra a diversos actores. Estos autores argumentan que los estudios sobre este tema deben ir más allá de un enfoque puramente hidrológico, e incluir también contextos políticos, económicos y culturales, ya que el agua media las relaciones sociales en varios niveles, como es el caso de la apropiación para la agricultura y el consumo por parte de los diferentes actores involucrados en un mismo espacio. En este contexto, y dado que existen pocos estudios que abordan el acceso al agua de UC humano en competencia directa con las actividades agrícolas, se reafirma la importancia de la propuesta de investigación de este proyecto.

## 1.5. Planteamiento del Problema de Investigación

Dada la intensidad de la actividad agrícola en la cuenca del río Alto Amacuzac, inferida a partir del proceso descrito en el CFM y su potencial crecimiento o expansión, ¿qué nivel de influencia ejerce, o podría ejercer, dicha actividad sobre la disponibilidad de la población local al agua para uso consuntivo? Esta pregunta se plantea en el contexto del balance hidrosocial de la cuenca del río Alto Amacuzac, tomando en cuenta la condición de los recursos hídricos presentes en la región.

### 1.6. Objetivos:

#### 1.6.1. General:

Establecer zonas de potencial estrés hídrico a través de un balance de masas de la cuenca río Alto Amacuzac, caracterizando la sustentabilidad del ciclo hidrosocial local, considerando la disponibilidad hídrica media natural (zonificada) y la presión de consumo antropogénico de tipo agrícola y de abastecimiento público (uso consuntivo), mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis espacial de la cuenca.

#### 1.6.2. Particulares:

1. Estimar los recursos hidrosociales naturales disponibles por medio de un balance de masas de la cuenca del río Alto Amacuzac, teniendo en cuenta la disponibilidad hídrica media anual natural en los diferentes espacios a lo largo de la cuenca para generar zonas definidas según sus características hidroclimáticas.
2. Calcular el consumo de agua de la actividad agrícola y del abastecimiento público por zona hidroclimática a nivel municipal, en función del tamaño de la población, utilizando los registros administrativos de concesiones del REPDA y el Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021).
3. Correlacionar el consumo de agua de la actividad antrópica y la disponibilidad hídrica per cápita de la población en relación con la disponibilidad general del recurso, con el fin de establecer potenciales zonas de estrés hidrosocial e insustentabilidad en la cuenca.

## 2.1. Marco teórico metodológico

### 2.2.1 Balance hídrico de una cuenca

Para el cálculo del balance hídrico, se utilizó una adaptación de la metodología de Gómez (2013), quien describe el proceso del balance hídrico para la cuenca del Valle de México. En su trabajo, Gómez expone con detalle los componentes de información que intervienen en el cálculo de un balance hídrico de cuenca, e sugiere múltiples fuentes de información en la materia, centrándose en bases de datos del contexto mexicano. A continuación, se describe la metodología que se aplicó a la cuenca del área de estudio para el balance hídrico, así como una sistematización por temática de las fuentes de información requerida para cada etapa del cálculo requerido.

### 2.2.2 Descripción del modelo de balance hídrico y sus componentes

Es importante considerar inicialmente que un balance hídrico es una metodología que busca analizar los procesos que ocurren dentro de un área determinada para poder establecer el estado del recurso agua. Esto permite contar con información oportuna para la toma de decisiones. Como un área de estudio perteneciente a la hidrología, este tipo de estudios demanda un análisis multidisciplinario en la mayoría de los casos, pues las implicaciones del conocimiento requerido son muy amplias, abarcando temas edafológicos, climatológicos, geográficos, jurídicos, administrativos, ecológicos, entre muchos otros. En este sentido, Giai (2008) sintetiza la definición de un balance hídrico de la siguiente manera:

*“Un balance hídrico no es más que la cuantificación del ciclo hidrológico. Desde el punto de vista de la física, es la aplicación al mismo principio de la aplicación de la masa, ya que, como la hidrosfera está en movimiento, y su volumen se considera constante, la parte de ella que sale de un ámbito debe ingresar a otro y viceversa”.*

Por tanto, para la realización de un balance hídrico, se necesitó información de entradas y salidas del sistema hidrológico que se buscaba analizar, que en este caso es la cuenca hidrológica del río Alto de Amacuzac. Para el presente trabajo resultó de suma relevancia

profundizar en los distintos escenarios y elementos que pueden tributar o demandar los recursos hídricos de la región, además de otros procesos que inciden directamente en este tipo de balances como pueden ser el uso de agua para la producción energética o el aprovechamiento de aguas tratadas, entre muchos otros potencialmente relevantes, de modo que se logró generar una perspectiva del enfoque de estudio a realizar, pues la variabilidad y diversidad de factores intervinientes, obligan a la segmentación de la realidad de estudio, mediante la elección de una metodología viable.

Según Gómez (2013), los componentes principales para un balance hídrico son:

#### Ingresos

- Precipitación
- Manantiales
- Pozos
- Transvases

#### Reingresos

- Aguas residuales
- Aguas residuales tratadas
- Aprovechamiento superficial (captación)

#### Egresos

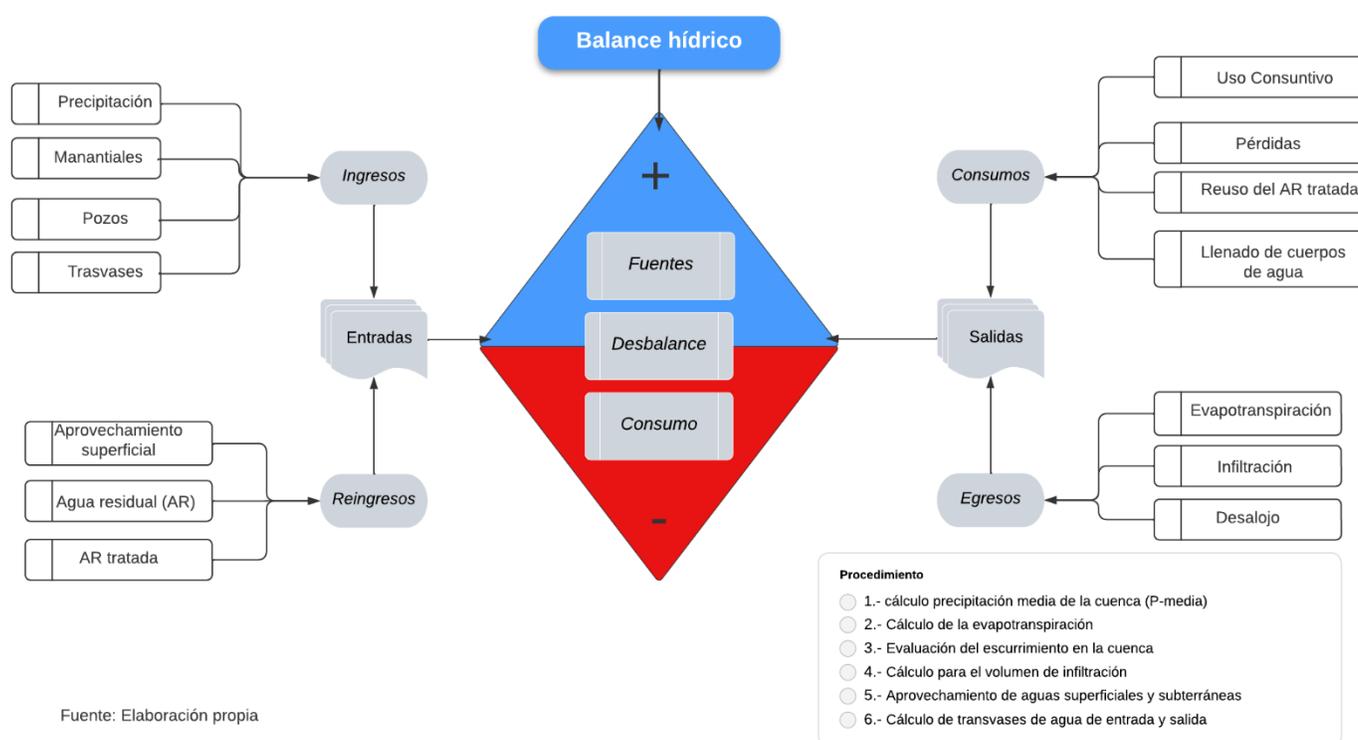
- Evapotranspiración
- Infiltración
- Desalojo

#### Consumos

- Usos consuntivos (consumos: agrícola, pecuario, industrial, urbano, servicios, otros)
- Usos no consuntivos (presas hidroeléctricas y conservación ecológica)

Todos los estos elementos que componen el balance hídrico se integran y analizan para un periodo de tiempo determinado, de modo que sea posible aplicar unidades de medida equiparables, con el objetivo de conjugar los diferentes procesos que ocurren dentro de la cuenca. De este modo, la sumatoria de los diferentes procesos de ingresos y egresos hídricos en un área de interés determinan un déficit o superávit hídrico (Figura 2). Esta información resulta necesaria para la toma de decisiones, permitiendo tomar las medidas urgentes necesarias para la protección de los recursos hídricos en caso de un déficit. En el caso de un superávit, se puede desarrollar la política pública local adecuada para una planificación en el uso racional del recurso y garantizar su preservación a largo plazo.

Figura 2: Esquema del balance hídrico de una cuenca.



Fuente: Elaboración propia

Fuente: elaboración propia, con base en Vilchis et al. (2018).

### 2.2.3. Delimitación de una cuenca hidrográfica

Para delimitar la cuenca, se deberán utilizar dos medios distintos con principios particulares, con el propósito de verificar la congruencia o correspondencia en la delimitación del parteaguas de la cuenca del río Alto de Amacuzac. Por un lado, se tomarán las cuencas ya delimitadas por el INEGI (2010) de la Red Hidrológica Nacional (RHN), las cuales están disponibles en formato shape. Por otro lado, se realizará la delimitación de la cuenca mediante algoritmos de interpolación a partir de modelos digitales de elevación (DEM), utilizando el Continuo de Elevación Mexicana (CEM) del INEGI (2013), el cual cuenta con una resolución de 15x15 metros.

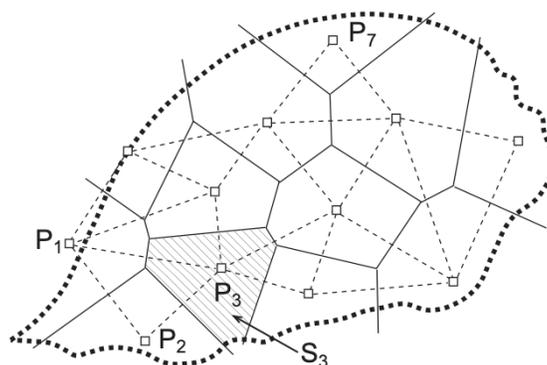
La determinación de los parteaguas de la cuenca se realizará a través de una matriz de flujos derivada del DEM, la cual se generará mediante el algoritmo de interpolación cúbica biarmónica descrito por Sadwell (en Gómez, 2013). Este algoritmo, utilizando los datos de elevación, permite determinar la dirección del flujo del agua, generando así datos de escurrimiento y flujo acumulado para cada celda de la matriz del DEM. De esta manera, se puede conectar las celdas con valor nulo para escurrimiento acumulado y determinar este continuo de atributo como el parteaguas de la cuenca.

### 2.2.4. Cálculo de la precipitación

Para este componente del balance hídrico, es esencial calcular la precipitación media de la cuenca (P-media). Este cálculo se realizará mediante el análisis de las precipitaciones reportadas por las estaciones climatológicas ubicadas dentro de esta área. Existen diversas metodologías para calcular la precipitación en áreas determinadas. En este caso, se aplicará la metodología de los polígonos de Thiessen (Sánchez, 2022).

En dicha metodología, se trazan las mediatrices perpendiculares de los segmentos que unen las estaciones meteorológicas, generando así polígonos que circunscriben las áreas de influencia de cada estación (Figura 3). Una vez contando con dichos polígonos y asumiendo que cada uno de estos presenta las mismas particularidades climáticas que la estación en su punto central, se puede estimar la P-media de la zona de estudio.

Figura 3: Esquema grafico de la estructura de los Polígonos de Thiessen.



Fuente: Sánchez (2022).

Posteriormente, para el cálculo de la P-media del área total de la cuenca, se implementa el cálculo de la media ponderada de las superficies de los polígonos y de las precipitaciones medias por cada estación climatológica. De este modo, la sumatoria de los valores promedios ponderados de superficie y precipitación para cada estación resulta en la precipitación media global. A continuación, se presenta la fórmula general para la P-media, en la que se integran la Superficie ( $S_i$ ) y la precipitación promedio por estación ( $P_i$ ).

$$P_m = \frac{S_1 P_1 + S_2 P_2 + \dots + S_n P_n}{S_{total}}$$

La información requerida para el cálculo de la P-media está accesible en los bancos de datos de las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2022), que contiene información desde 1951 hasta 2021. Además, se pueden obtener los datos diarios de las estaciones meteorológicas en el sistema de Información Estadística Climatológica del SMN. En este último, también se proporciona un archivo con las estaciones meteorológicas georreferenciadas, lo que permite trabajar la información espacialmente, no obstante, para este proyecto se recurrió al uso de las normales climatológicas del SMN, pues el enfoque de estudio busca un comportamiento medio de la cuenca respecto a los ingresos por precipitación.

### 2.2.5. Cálculo de la evapotranspiración

En este aspecto, hay una amplia variedad de métodos disponibles. Los valores de evapotranspiración son de vital importancia para los procesos biológicos, ambientales y agronómicos. Sin embargo, para este trabajo, seleccionamos el algoritmo de Turc como base para el cálculo de la evapotranspiración, ya que solo requiere de los valores de precipitación media anual y temperatura media anual del aire (en mm/m<sup>2</sup> y °C promedio anual) de cada estación climatológica en el área de estudio. Este algoritmo se utiliza para calcular la ETR (evapotranspiración real), que es un componente del balance hídrico de la cuenca, ya que la evapotranspiración potencial y el poder evaporante de la atmósfera no son relevantes para este estudio (Sánchez, 2022).

Fórmula de Turc:

$$ETR = \frac{p}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde:

ETR = evapotranspiración real (mm/año)

P = Precipitación (mm/año)

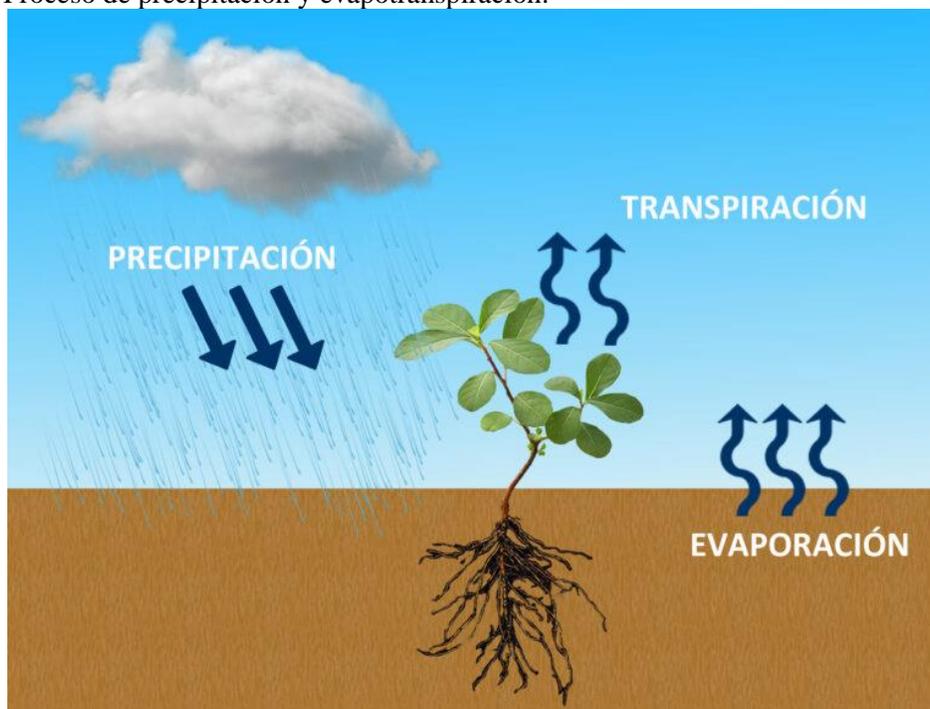
L = 300+25t +0.05t<sup>3</sup>

t = temperatura media anual (°C)

### Evapotranspiración (ET)

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En la Figura 4 se presenta la evapotranspiración dividida en sus dos componentes (evaporación y transpiración) en relación con el área foliar por unidad de superficie de suelo debajo de él. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del de 90% de la ET ocurre como transpiración.” (Allen et al., 1998).

Figura 4: Proceso de precipitación y evapotranspiración.



Fuente: Veto, precisión a su medida (Veto, 2023).

Posteriormente a obtener los valores de ETR para cada estación climatológica de la cuenca, se procede a hacer una interpolación de los datos mediante el método ya descrito para la P-media, utilizando los polígonos de Thiessen y la media ponderada de las superficies de los polígonos y de las ETR de cada estación climatológica, generando de este modo un valor de ETR ponderado para la cuenca.

#### 2.2.6. Evaluación del escurrimiento en una cuenca

Como se observó en los apartados anteriores, el cálculo de las derivas del ciclo hidrológico de una zona de estudio resulta de vital importancia. A partir de los registros pluviométricos y la precipitación media de la cuenca que se calcula con estos, se puede calcular que no toda el agua sigue la misma ruta dentro del ciclo y, por lo tanto, tampoco tiene el mismo destino. Esto implica grandes diferencias para las consideraciones de los recursos hídricos, su aprovechamiento o administración, de un sitio determinado. En este sentido, otro componente relevante en el cálculo del balance hídrico de una cuenca es el volumen de agua de escurrimiento, considerado como el recurso hídrico superficial de la cuenca, pues toma en

cuenta la precipitación media menos el agua de infiltración que satura o percola el suelo sin desplazamiento superficial.

Para calcular este componente, se utilizará el Método Racional descrito por Sánchez (2022), que permite estimar el caudal que produce la precipitación de un área específica, con un suelo determinado. Este método contempla el coeficiente de escorrentía, propiedad del suelo, que según sus características edafológicas le confiere mayor o menor capacidad de infiltración y percolación. Esto resulta en una retención del recurso hídrico durante un fenómeno pluvial, permitiendo así calcular la disponibilidad potencial fluvial en la cuenca de interés.

Fórmula del método racional para el cálculo de agua de escurrimiento:

$$Q=C*I*A$$

Donde:

Q = caudal (m<sup>3</sup>/seg)

C = coeficiente de escorrentía (entre 0.1 y 0.7 habitualmente)

I = Intensidad de precipitación (mm/hora)

A = superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Un elemento de gran importancia que determina el cálculo del volumen de agua escurrida en un área es el coeficiente de escurrimiento, el cual Chow (1988) define como "la relación entre el escurrimiento directo y la intensidad promedio de una tormenta". Para el uso del coeficiente de escorrentía en la ecuación del cálculo de agua de escurrimiento, se consideraron dos posibles recursos. Por un lado, las tablas de correspondencia para distintos tipos de uso de suelo propuestas para Estados Unidos (Chow, 1994), en las cuales se encuentran distintos coeficientes de escurrimiento para múltiples escenarios de usos de suelo. Por otro lado, y siendo la opción elegida para este proyecto, se utilizaron los coeficientes de escurrimiento calculados por COLMEX (2020), los cuales fueron elaborados con información de precipitación, afluente de causas, altimetría de la cuenca del río Balsas, y tomando en consideración que la cuenca de estudio se encuentra dentro de la cuenca del río Balsas, la información resultante del estudio citado es aplicable a la región de interés de este trabajo.

Fórmula para el cálculo del coeficiente de escurrimiento:

$$C = \frac{\text{Volumen de escurrimiento superficial}}{\text{Volumen de precipitación total}} \quad \text{Por lo tanto } C = \frac{\left(\frac{Pde}{P_0}-1\right) * \left(\frac{Pde}{P_0}+23\right)}{\left(\frac{Pde}{P_0}+11\right)}$$

Fuente: Sánchez (2021)

Las tablas generales de referencia para los coeficientes de escurrimiento y, aunque en muchos casos son ampliamente utilizadas, son desarrolladas para sitios específicos que difícilmente comparten las características de otras áreas de estudio. Por ejemplo, la utilizada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (s.d.), en donde se establecen algunos rangos para los coeficientes de escurrimiento de distintos tipos y usos de suelo, en algunos casos con consideración de la pendiente del terreno y en otras de manera genérica sin considerarla. Por lo cual para nuestra área de estudio se recurrió a la tabla elaborada por El COLMEX (2020) la cual presenta coeficientes de escurrimiento para la cuenca del río Alto Amacuzac, segmentada en las zonas alta, media y baja (Figura 5).

Figura 5: Coeficientes de escurrimiento para la cuenca del río Alto Amacuzac

Cuenca	Coficiente de Escurrimiento
<b>Alto Amacuzac</b>	<b>0.21</b>
<b>Medio Amacuzac</b>	<b>0.24</b>
<b>Bajo Amacuzac</b>	<b>0.23</b>

Fuente: El COLMEX (2020).

### 2.2.7. Cálculo para el volumen de infiltración de una cuenca

El cálculo del volumen de infiltración es una tarea esencial en un estudio de balance hídrico. Definida como "el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo" (Ordoñez, 2011), es crucial incorporar este componente al balance hídrico. Como hemos discutido, del total de la precipitación en la cuenca de estudio, importantes volúmenes del

recurso siguen diferentes rutas en el ciclo hidrológico natural: la evapotranspiración, las escorrentías y, por último, la infiltración son procesos que deben considerarse al estimar el recurso en el área de interés.

La infiltración representa el volumen que, al penetrar la capa superficial del suelo y saturarla, logra percolar a capas inferiores del terreno, por lo que constituye una de las principales fuentes de abastecimiento para las aguas subterráneas y, por ende, de la recarga de los acuíferos.

Aunque existen diferentes algoritmos para calcular la infiltración del agua en el suelo, según Sophocleous (1992), la variabilidad en los rangos de resultados de estos procedimientos genera un amplio margen de error. Este proceso está altamente vinculado a las características específicas del suelo y es poco influenciado por las condiciones generales del entorno circundante, por lo que el nivel de desagregación necesario para obtener información relevante para su cálculo es a menudo poco disponible o inviable.

En este contexto, para el balance hídrico de la cuenca del río Alto Amacuzac, optamos por despejar la fórmula de balance hídrico, donde se considera que el volumen total precipitado corresponde a la suma del agua evapotranspirada, el agua de escurrimiento superficial y el agua infiltrada en el suelo.

Formula general de balance hídrico Gómez (2013):

$$\text{Precipitación total} = \text{Evapotranspiración} + \text{Escorrentía} + \text{Infiltración}$$

Formula despejada para estimar infiltración:

$$\text{Infiltración} = \text{Precipitación total} - \text{Evapotranspiración} - \text{Escorrentías}$$

#### 2.2.8. El aprovechamiento antropogénico del agua

El aprovechamiento antropogénico del agua es un factor significativo para este estudio. Como indica Vilchis et al. (2018), "El agua... está directamente relacionada con la vida y el bienestar de la población, y se concibe como un bien público fundamental. Es un activo ecosocial clave por su capacidad para salvaguardar la vida y satisfacer un conjunto de

funciones estratégicas en lo económico, social y ambiental". El autor introduce los conceptos de "cuenca hidrosocial" y "ciclo hidrosocial" para analizar los balances hídricos del territorio, entendiendo el "ciclo hidrosocial" como la suma de interrelaciones humanas y físicas relacionadas con el agua. De esta forma, se busca mostrar cómo los sistemas sociales, políticos, culturales y económicos regulan el flujo del agua a través de procesos sociales, mientras que, simultáneamente, el agua también moldea la conformación de la sociedad (Wittfogel, 1957).

Por lo tanto, los componentes de consumo, contaminación (ya sea por uso o deriva) y la reutilización del recurso hídrico representan un volumen considerable y deben ser cuantificados e incorporados en los elementos del balance hídrico y fundamentalmente el ciclo hidrosocial del agua de la cuenca de estudio. Esto permitirá que las perspectivas de disponibilidad y uso de los recursos en el área de influencia de la cuenca sean realistas, facilitando la toma de decisiones efectivas e informadas para una administración eficiente del agua, tanto en el contexto actual como en proyecciones para posibles escenarios futuros de sustentabilidad.

#### 2.2.8.1 Cuantificación del UC antrópico de aguas superficiales y subterráneas

El aprovechamiento del agua por parte de la sociedad mexicana, tanto en el ámbito público como privado y en todos los niveles territoriales, está regulado por la Ley de Aguas Nacionales (LAN, 2023). Esta Ley establece los límites jurisdiccionales del territorio en relación con el aprovechamiento y la condición o estatus de los recursos hídricos del país. A través de la LAN, se publica anualmente el estado de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, así como la concesión de derechos de explotación del recurso asignados, todo ello en función del potencial de los recursos hídricos en cada región. Por lo tanto, cualquier persona interesada en poseer el derecho de explotación del recurso hídrico debe estar inscrita en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA, 2023), esta cuenta con una base de datos que contiene el volumen de agua autorizado, el periodo de los derechos de explotación y el seguimiento del consumo real de cada concesión.

Para estimar el agua que ingresa al ciclo hidrosocial, recurrimos al sistema de consulta de la base de datos del REPDA, que publica: los "Títulos y permisos de aguas nacionales y sus bienes público-inherentes" por municipio; los "Títulos de aguas nacionales otorgados a distritos de riego" por distrito de riego y el "Registro de obras en zonas de libre alumbramiento" por municipio. Además de la base de datos anterior, el REPDA ofrece los sistemas "Localizador de aguas nacionales, zonas federales, descargas residuales y extracción de materiales" (LOCREPDA) (CONAGUA, 2019), que dispone de información tipo polígono de acuíferos y de volúmenes de aprovechamientos tipo punto para fuentes superficiales y subterráneas, así como los reportes anuales de concesiones de agua de UC a nivel municipal (REPDA, 2021), para toda la república.

Otras fuentes de información relevantes para evaluar el ciclo hidrosocial de los recursos hídricos de la cuenca incluyen el Sistema de información geográfica de acuíferos y cuencas (SIGACUA, 2023), que cuenta con información de los acuíferos a nivel nacional en geometría poligonal, con respecto a sus estatus de aprovechamiento (veda, reserva o reglamentado). También, de manera sustantiva, utilizamos el Módulo de metadatos geográficos del Sistema Nacional del Agua (SINA, 2020), que permite descargar capas vectoriales, en agregaciones territoriales estatales y municipales, con información precisa sobre el volumen de agua aprovechado, tanto de fuentes subterráneas como superficiales, y la asignación del volumen de consumo clasificado por abastecimiento público, agrícola e industrial, con registros anuales para el periodo 2014 al 2021.

Es importante mencionar la fuente de información correspondientes a la serie de reportes de "Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero..." para todos los acuíferos a nivel nacional, que proporcionan un diagnóstico detallado de los recursos hídricos de cada acuífero del territorio nacional para el año 2020. Estos reportes ofrecen información detallada sobre la condición del balance hídrico para cada acuífero, así como detalles técnicos y una caracterización geológica, fisiográfica, hidrogeológica, y la disponibilidad y balance de aprovechamiento de aguas superficiales e hidrometría del censo de aprovechamiento de los recursos hídricos de los acuíferos. Estos reportes están publicados por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Subdirección General Técnica de la CONAGUA (2021), y cuentan

con un visualizador geográfico con los polígonos de los acuíferos a nivel nacional, su disponibilidad media anual y otros datos de gran relevancia para el análisis.

El análisis de estas fuentes de información nos proporcionó una comprensión integral de cómo se está aprovechando el agua en la cuenca del río Alto Amacuzac, tanto a nivel superficial como subterráneo. Con esta información, pudimos evaluar la sostenibilidad del uso del agua en la región e identificar áreas potenciales para mejoras en la gestión del agua. Esto es crucial para asegurar la disponibilidad futura de este recurso vital en un contexto de cambio climático y creciente presión sobre los recursos hídricos.

### 3.1. Metodología utilizada para el balance hidrosocial de la cuenca del río Alto Amacuzac (RAA).

El camino que seguimos para lograr los objetivos establecidos en este proyecto pasó por una serie de etapas, a través de las cuales se buscó calcular la condición hídrica de la cuenca río Alto Amacuzac para poder analizar la influencia potencial de la actividad agrícola, en particular la florícola, sobre los recursos hídricos de la región. Comenzamos con un balance hídrico de la cuenca, considerando los volúmenes de ingresos y egresos del recurso al sistema, así como las recirculaciones, factores de evapotranspiración, escurrimiento, infiltración y aprovechamiento antropogénico, entre otros. Con ello, estimamos un nivel de balance hídrico del recurso en la cuenca, generando una perspectiva de la disponibilidad o escasez general en dicha área. Además, zonificamos estas condiciones a lo largo de la cuenca para observar de manera más particular las diferentes realidades hídricas, ya que tanto la disponibilidad como el consumo hídrico no son fenómenos que presentan un comportamiento continuo en el espacio y responden a variaciones a lo largo del territorio debido a la precipitación, temperatura, densidad de población, actividades productivas entre otros factores.

En este mismo flujo de análisis, generamos una zonificación de disponibilidad hídrica natural en la cuenca mediante el análisis de la precipitación, como factor primario de ingreso del recurso al área de interés, y la evapotranspiración como factor de egreso predominante, el escurrimiento e infiltración se consideraron como recursos estáticos, esto dado que, la metodología considera en el balance la explotación antrópica de los recursos superficiales y subterráneos, por lo que dichas variables hidrológicas son consideradas como fuentes de abastecimiento en el ciclo hidrosocial de la cuenca.

De esta manera, logramos una caracterización en zonas que, dadas sus particularidades como tipo de suelo, uso de suelo, pendiente, temperatura media y evapotranspiración, con lo que se segmentar dichas zonas, mediante la metodología de polígonos de Thiessen. De este modo, pudimos establecer una jerarquización de las áreas analizadas y agruparlas mediante características comunes respecto a su disponibilidad hídrica, apoyándonos en la metodología de ríos (2019), que describe el procedimiento de estimación de la disponibilidad hídrica de una cuenca, con lo cual posteriormente se extrapoló el procedimiento al cálculo zonificado.

En seguida, se estableció un consumo hídrico municipal respecto a la actividad antropogénica en la cuenca, utilizando los datos del REPDA (CONAGUA, 2021), en el cual se reporta el uso consuntivo para diversos fines, entre ellos el agrícola, el abastecimiento público, el industrial y el usado para la producción eléctrica, así como el volumen total concesionado. Todos estos parámetros fueron vitales para el análisis del consumo antropogénico del agua en la región de la cuenca. Es importante mencionar que esta información se presenta a nivel municipal, lo que permitió un análisis geoespacial adecuado.

Una vez establecido el consumo del recurso por la actividad humana en la cuenca, procedimos con la estimación del acceso al agua de consumo humano per cápita a nivel municipal. Para esto, consideramos que cada unidad administrativa cuenta con un volumen de agua de abastecimiento público reportado en el REPDA y una población específica según el Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020). De esto, obtuvimos la aproximación del acceso al recurso por parte de la población. Según estos niveles de acceso hídrico per cápita por municipio, asignamos a cada unidad administrativa a una categoría de estrés hídrico de Falkenmark (Blanco, 2017), estableciendo así la condición de acceso al recurso para el abastecimiento público. En donde un acceso per cápita de 1,700 m<sup>3</sup> a 500 m<sup>3</sup> implica categorías que van de "sin estrés" a "escasez absoluta" respectivamente. Este análisis fue uno de los objetivos primarios de este trabajo, ya que se alinea a la perspectiva de los derechos humanos sobre el acceso al agua (ONU, 2015).

Finalmente, una vez obtenida la información respecto a la disponibilidad del recurso y su demanda, se realizó un análisis espacial de zonificación de las áreas de la cuenca, según el nivel de estrés hídrico que presentaron. Para esto, se restaron los consumos municipales, tanto agrícolas, de abastecimiento público e industrial, de las disponibilidades calculadas en los polígonos de disponibilidad hídrica natural. De esta manera, se obtuvo un mapa de la condición hídrica de la región en el que se observan las áreas según sus niveles de riesgo de estrés hídrico, el cual se deriva de la competencia por el recurso disponible en las diversas zonas dentro de la cuenca del río Alto Amacuzac.

### 3.2. Delimitación de la cuenca del río Alto Amacuzac

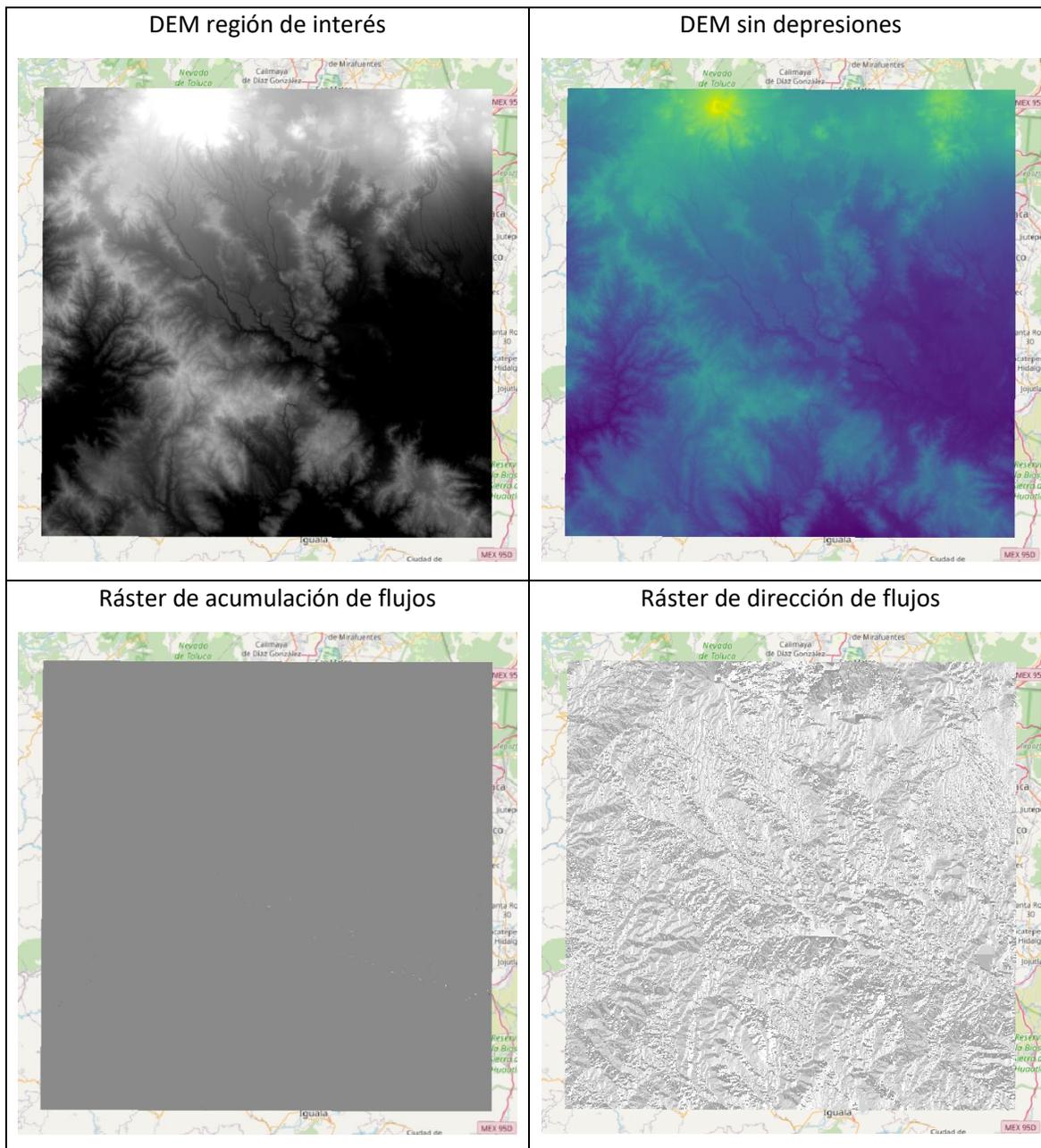
El primer paso para la delimitación de cuenca fue contar con un Modelo Digital de Elevación (DEM), en este caso se utilizó el Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0) como fuente de datos (INEGI, 2013). Este modelo proporciona información precisa y detallada sobre la topografía del terreno, lo cual fue fundamental para la delimitación de las cuencas hidrográficas.

Una vez con el DEM, se utilizaron herramientas de GRASS disponibles en el software de QGIS (3.28.6-Firenze) para realizar la delimitación de la cuenca. En primer lugar, se utilizó la herramienta `r.fill.dir` para rellenar los vacíos que puedan existir en el modelo y corregir las irregularidades, generando el producto ráster "Depressionless DEM". A continuación, mediante la herramienta `r.watershed` se procedió a identificar los puntos de captación de agua y de acumulación, además de una capa de dirección de flujo, con lo cual se generó la delimitación preliminar de la cuenca (Figura 6).

En el siguiente paso se seleccionó el punto de salida del agua o desfogue, es decir, el lugar donde se localiza la salida natural de la cuenca. Para ello se utilizó la herramienta `r.water.outlet`, que permite seleccionar el punto de salida o punto de exutorio de acuerdo con su ubicación determinada sobre la capa de acumulación previamente generada. Con esta información, se generó la delimitación final de la cuenca de forma automatizada en formato ráster.

Finalmente, para obtener un archivo vectorial de la cuenca delimitada se utilizó la herramienta `r.to.vect`, también de GRASS, la cual convierte el archivo ráster en un archivo vectorial de polígonos. Con la opción "suavizar esquinas de objetos de área" se suavizaron las esquinas y bordes del polígono generado, sin el escalonamiento perimetral derivado de los píxeles del recorte, para obtener un archivo más preciso y detallado de la cuenca hidrográfica delimitada (Mapa 1).

Figura 6: Proceso automatizado de delimitación de cuenca a partir de un DEM a 15 metros mediante el software QGIS.



Fuente: elaboración propia a partir del DEM (INEGI, 2013).

Mapa 1: Delimitación de la cuenca río Alto Amacuzac.



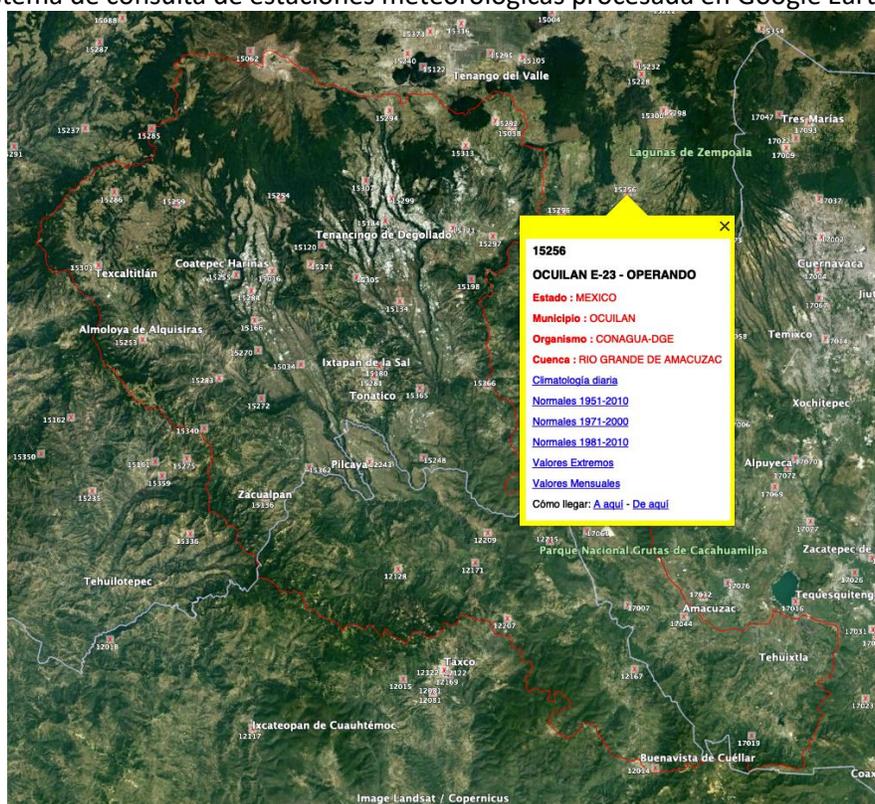
Fuente: elaboración propia a partir del DEM (INEGI, 2013).

### 3.3. Estimación de la precipitación en la cuenca del río Alto Amacuzac

Para poder evaluar la precipitación en la cuenca del río Alto Amacuzac, se recurrió al uso de la base de datos climatológica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y CONAGUA, la cual cuenta con la información de más de 5,420 estaciones meteorológicas a lo largo de la república. A pesar de que alrededor del 41% de las estaciones se encuentran en estatus de suspensión (fuera de operación), la información proporcionada por dicha base de datos es la mejor fuente de información climatológica en el país (CONAGUA, 2010).

Para el procesamiento de esta base de datos, se utilizó el software Google Earth Pro (7.3.6.9345, versión de 64 bits), siguiendo el procedimiento recomendado por CONAGUA (2010). En dicho procedimiento se detalla la simbología, la estructura de datos y las bases de datos anexas disponibles en el sistema de consulta para el manejo de la base de datos de la Red de Estaciones Climatológicas Nacional, publicada por CONAGUA en formato KMZ (Figura 7). Mediante esta herramienta, se seleccionaron las estaciones meteorológicas ubicadas dentro del área de la cuenca de estudio, así como una serie de estaciones perimetrales exteriores a la misma que permitieran una extrapolación de los datos climatológicos a lo largo de toda la superficie de la cuenca de interés. Esto permitió generar una base de datos en Excel con las estaciones de interés y la información necesaria para calcular la precipitación en la cuenca, incluyendo la posición geográfica de cada estación para su posterior georreferenciación.

Figura 7: Sistema de consulta de estaciones meteorológicas procesada en Google Earth Pro (2010).



Fuente: Elaboración propia, a partir de CONAGUA (SMN, 2010).

De las estaciones climatológicas seleccionadas, se verificó la disponibilidad y temporalidad de la información accediendo estación por estación al documento anexo de Normales Climatológicas 1951-2010 disponible en el sistema de consulta mencionado anteriormente.

Aunque el nombre del documento indica que contiene las normales climatológicas hasta el año 2010, en realidad contiene las normales climatológicas más actualizadas, que en algunos casos llegan hasta el año 2019. De este documento se extrajeron las precipitaciones promedio generales (mm/m<sup>2</sup>/año) y las temperaturas medias anuales mínimas y máximas generales (°C), según el periodo de años disponible en la base de datos de cada estación climatológica seleccionada.

A partir de la selección de las estaciones climatológicas con información disponible y una temporalidad adecuada, se generó una base de datos con 48 estaciones climatológicas. Esta base de datos incluye la información de climatología básica mencionada anteriormente, así como datos descriptivos, de ubicación, altitud y, por supuesto, las coordenadas geográficas reportadas para cada estación. Estos datos permiten enlazar cada estación a un sistema de información geográfica. A continuación, se presenta una muestra de las estaciones climatológicas seleccionadas para la estimación de la precipitación en la cuenca (Cuadro 3).

Cuadro 3: muestra de 10 (de un total de 48) estaciones climatológicas seleccionadas para el cálculo de precipitación.

Name	Nombre	Estado	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud	Pmm2d	TminPA	TmaxPA
12014	BUENAVISTA DE CUELLAR	GUERRERO	BUENAVISTA DE CUELLAR	18.46	-99.401	1394	4.5	15.8	31.4
12167	TEPETLAPA	GUERRERO	BUENAVISTA DE CUELLAR	18.55	-99.42	1022	3.5	14.4	30.3
12207	ACUITLAPAN	GUERRERO	TAXCO DE ALARCON	18.6	-99.54	1600	3.5	14.3	27.9
12215	DOS BOCAS	GUERRERO	PILCAYA	18.67	-99.5	1239	2.6	16.3	32.5
12209	EL MOGOTE	GUERRERO	PILCAYA	18.68	-99.56	1490	3.1	11.9	26.4
12171	CHONTALCOATLAN	GUERRERO	TETIPAC	18.65	-99.57	1289	3.2	13.3	31.2
12128	TETIPAC	GUERRERO	TETIPAC	18.65	-99.65	1686	4.5	16.2	29.1
12243	PILCAYA	GUERRERO	PILCAYA	18.75	-99.68	1610	2.8	11.3	27.4
12046	HUITZUCO	GUERRERO	HUITZUCO DE LOS FIGUEROA	18.31	-99.33	940	3.1	16.3	33.5
12222	LAGUNA DE TUXPAN	GUERRERO	IGUALA DE LA INDEPENDENCIA	18.35	-99.48	767	2.5	17.2	32.6

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de las estaciones climatológicas de la Red de Estaciones Climatológicas Nacional.

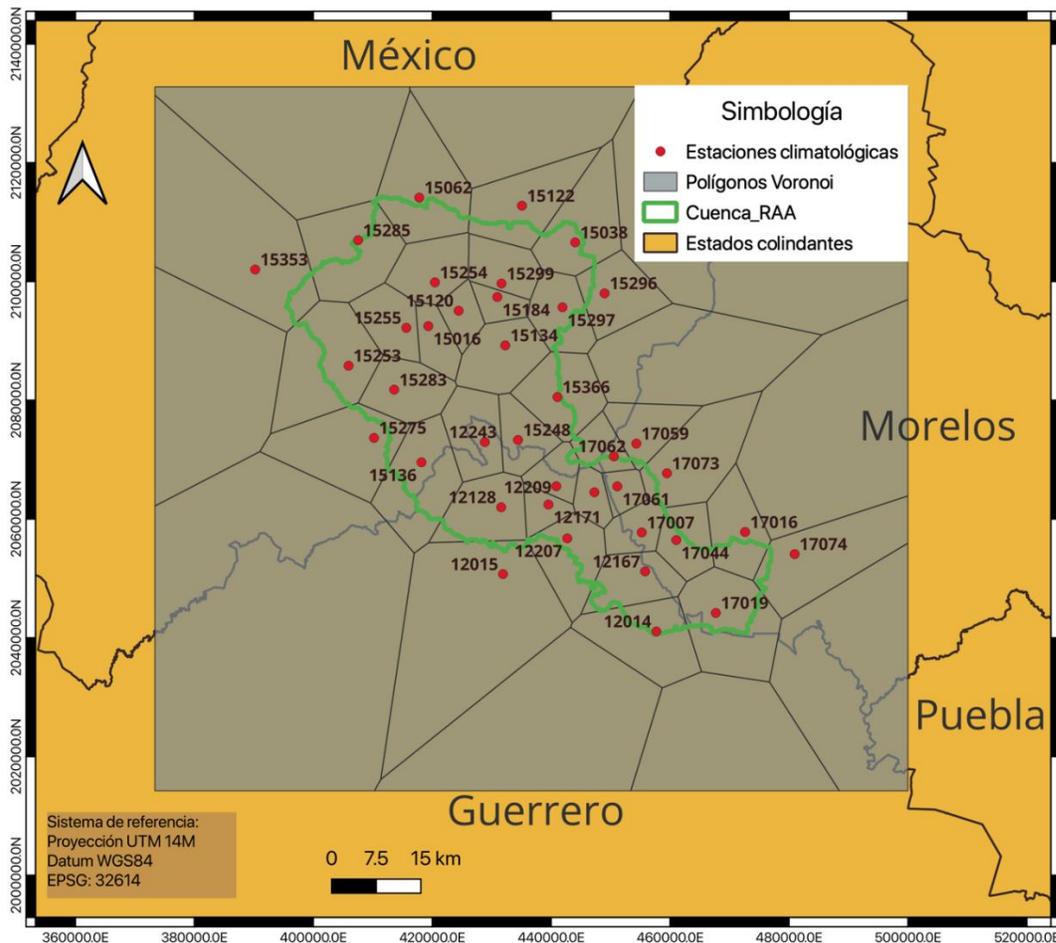
Una vez obtenida la base de datos de las estaciones climatológicas seleccionadas para el cálculo de la precipitación en la cuenca y sistematizada en Excel, se utilizó el método de los polígonos de Thiessen para extrapolar los datos climatológicos de cada estación seleccionada. Para llevar a cabo este procedimiento, se empleó el software QGIS.

En primer lugar, se cargaron las estaciones mediante el archivo de Excel que contenía los datos de las estaciones, incluyendo las coordenadas geográficas reportadas para cada una. Con esta información, se generó una capa vectorial de puntos que representaba las estaciones climatológicas seleccionadas.

### 3.4. Creación de polígonos de Thiessen (área de influencia por estación meteorológicas).

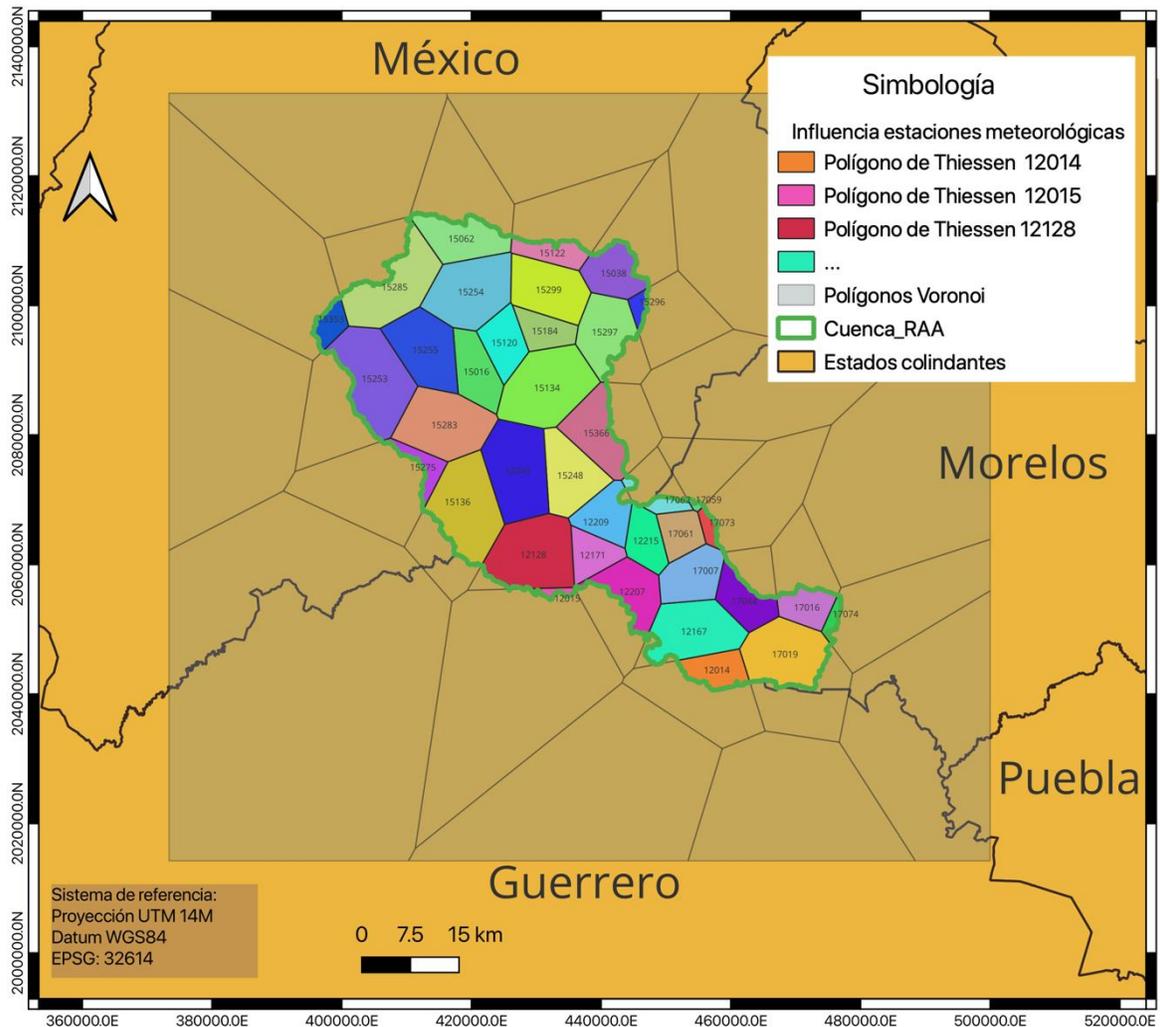
A partir de la capa vectorial de puntos de estaciones se utilizó la herramienta de “Polígonos de Voronoi”, que, mediante el cálculo de las mediatrices entre los puntos de la red climatológicas, genera polígonos de influencia para cada una de las estaciones, de tal modo que se posibilita el uso de la metodología de polígonos de Thiessen para la influencia de las variables meteorológicas de las estaciones sobre todo el territorio de la cuenca (Mapa 2). Posteriormente, los polígonos de Voronoi son recortados mediante la capa vectorial de la cuenca para dejar únicamente las áreas de influencia de las estaciones climatológicas dentro de la misma.

Mapa 2: Polígonos de Voronoi a partir de las estaciones meteorológicas seleccionadas para la cuenca.



Fuente: Elaboración propia a partir de las estaciones las estaciones meteorológicas seleccionadas.

Mapa 3: Áreas de influencia de las estaciones meteorológicas seleccionadas o polígonos de Thiessen.



Fuente: Elaboración propia a partir de los polígonos de Voronoi generados.

Una vez generados los polígonos de Thiessen (Mapa 3), se procedió a realizar estimaciones sobre las variables climáticas: precipitación, temperatura media anual, evapotranspiración, agua superficial de escurrimiento, infiltración y disponibilidad media anual (Cuadro 4). Para este proceso, se emplearon los atributos incluidos en los polígonos de Thiessen localizados dentro de la cuenca, a partir de las normales climatológicas recopiladas para cada estación meteorológica. Para calcular los parámetros para cada polígono, se recurrió al uso de las ecuaciones mencionadas en el marco teórico, específicamente destinadas a la estimación de los parámetros precipitación media anual, temperatura media anual, evapotranspiración

media anual, escurrimiento medio anual, infiltración media anual y disponibilidad media anual.

Cuadro 4: Variables climatológicas resultantes: precipitación media anual, temperatura media anual, evapotranspiración media anual, escurrimiento medio anual, infiltración media anual y disponibilidad media anual, además del área de cada polígono de Thiessen.

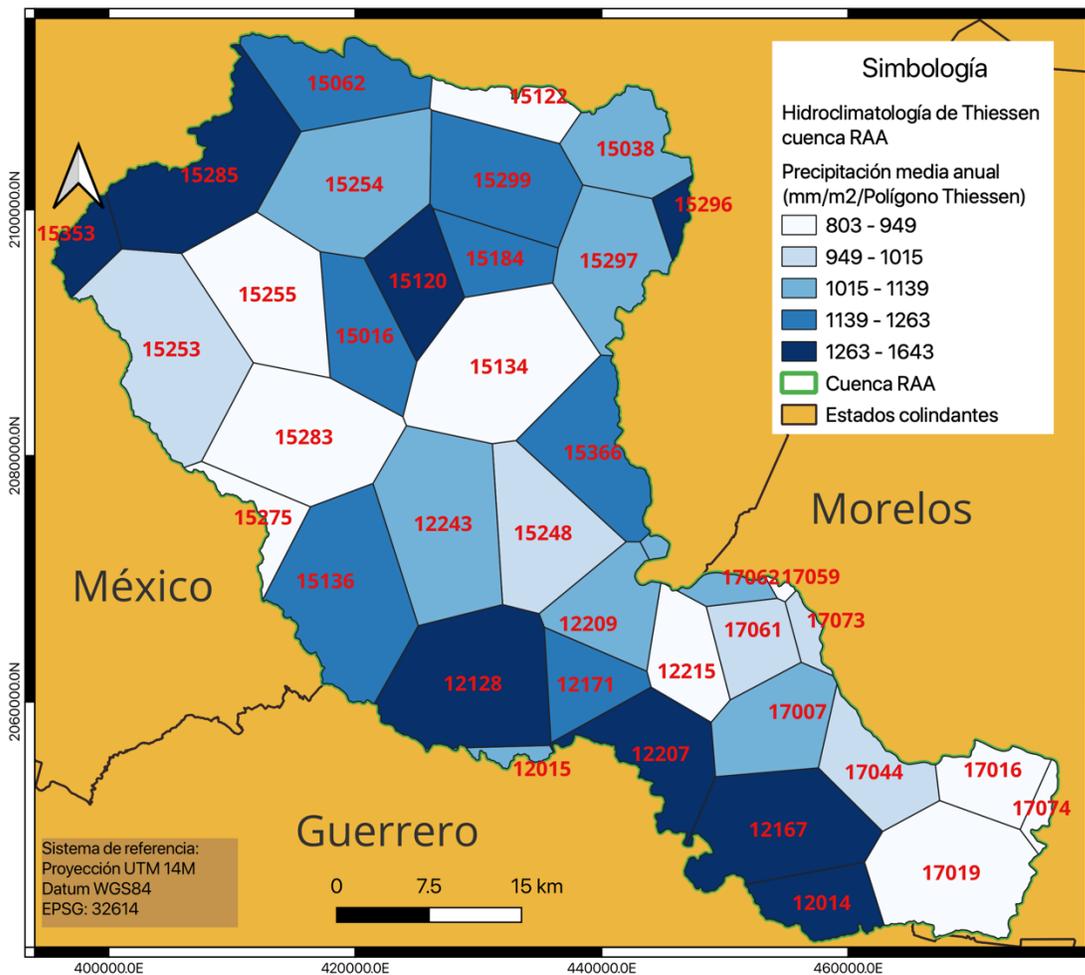
Name Pol	Estado	Altitud	Pres (hm3/Año/PoIT)	TMA/PoIT	ETR (hm3/Año/PoIT)	Q (hm3/Año/PoIT)	Infilt (hm3/Año/poIT)	Disphm3Año	Area (Km2)	Area (m2)
17074	MORELOS	907	8.000435	23.6	7.320458331	1.84010005	-1.160123381	0.67997667	9.53	9530000
17016	MORELOS	932	35.8357365	24.5	33.2790324	8.242219395	-5.685515298	2.5567041	42.687	42687000
17007	MORELOS	942	77.1354865	25.1	66.79232768	17.7411619	-7.398003078	10.3431588	68.171	68171000
17073	MORELOS	986	11.341134	24.4	10.09261387	2.60846082	-1.35994069	1.24852013	11.508	11508000
12167	GUERRERO	1022	139.74828	22.35	106.7796839	32.1421044	0.826491744	32.9685961	109.392	109392000
17059	MORELOS	1027	2.043708	23.05	1.830651414	0.47005284	-0.256996254	0.21305659	2.333	2333000
17061	MORELOS	1152	41.2520445	23	35.61782291	9.487970235	-3.853748642	5.63422159	41.859	41859000
17062	MORELOS	1163	18.013772	24.15	15.77513664	4.14316756	-1.904532196	2.23863536	17.626	17626000
12215	GUERRERO	1239	45.943937	24.4	41.319805	10.56710551	-5.942973506	4.624132	48.413	48413000
17044	MORELOS	1278	53.2376955	24	46.99012684	12.24466997	-5.997101305	6.24756866	54.021	54021000
12171	GUERRERO	1289	51.566032	22.25	40.90587968	11.86018736	-1.200035037	10.6601523	44.149	44149000
17019	MORELOS	1303	102.220075	25.55	94.70638914	23.51061725	-15.99693139	7.51368586	112.022	112022000
12014	GUERRERO	1394	75.3693975	23.6	52.93852726	17.33496143	5.095908819	22.4308702	45.887	45887000
12209	GUERRERO	1490	64.6957755	19.15	46.8999936	14.88002837	2.915753539	17.7957819	57.177	57177000
15248	MEXICO	1584	86.7131595	20.15	69.42006109	19.94402669	-2.650928271	17.2930984	87.989	87989000
12207	GUERRERO	1600	89.91556	21.1	65.7551839	20.6805788	3.479797305	24.1603761	70.384	70384000
12243	GUERRERO	1610	128.499126	19.35	98.69091912	29.55479898	0.253407904	29.8082069	125.733	125733000
12015	GUERRERO	1662	7.8582675	20.45	5.967314045	1.807401525	0.08355193	1.89095345	6.945	6945000
12128	GUERRERO	1686	215.3202525	22.65	145.5655401	49.52365808	20.23105437	69.7547124	131.093	131093000
15283	MEXICO	1818	112.5869875	17.75	86.47591071	25.89500713	0.216069662	26.1110768	123.383	123383000
15353	MEXICO	1865	32.9292415	18.35	20.82664172	7.573725545	4.528874233	12.1025998	24.383	24383000
15134	MEXICO	1900	131.166035	19.45	104.4792442	30.16818805	-3.481397234	26.6867908	138.215	138215000
15366	MEXICO	1934	95.8818135	18	64.10313394	22.05281711	9.725862451	31.7786796	79.603	79603000
15275	MEXICO	1950	25.08207	19.6	20.06962886	5.7688761	-0.756434955	5.01244114	26.43	26430000
15253	MEXICO	1980	135.439236	17.8	100.3711583	31.15102428	3.917053405	35.0680777	137.432	137432000
15136	MEXICO	2005	165.543195	18.2	109.6348554	38.07493485	17.83340472	55.9083396	133.395	133395000
15296	MEXICO	2045	15.3025155	16.1	8.695694959	3.519578565	3.087241976	6.60682054	11.331	11331000
15297	MEXICO	2053	91.9513475	14.7	55.19820631	21.14880993	15.60433127	36.7531412	81.265	81265000
15184	MEXICO	2200	52.756151	15.3	30.58807487	12.13391473	10.0341614	22.1680761	42.511	42511000
15120	MEXICO	2208	73.4064275	15.65	40.78309631	16.88347833	15.73985287	32.6233312	54.355	54355000
15255	MEXICO	2249	95.254926	16	67.35393029	22.86118224	5.039813468	27.9009957	100.374	100374000
15016	MEXICO	2270	76.4748	16.05	47.84567346	18.353952	10.27517454	28.6291265	65.475	65475000
15299	MEXICO	2291	116.402077	15.85	69.30215772	27.93649848	19.1634208	47.0999193	93.797	93797000
15254	MEXICO	2500	135.404342	15.6	84.7279989	32.49704208	18.17930102	50.6763431	119.668	119668000
15038	MEXICO	2797	64.354683	12.85	37.04484412	15.44512392	11.86471496	27.3098389	60.798	60798000
15122	MEXICO	2858	29.517477	13.6	20.87414209	7.08419448	1.559140427	8.64333491	36.759	36759000
15285	MEXICO	3005	151.0656525	12.35	73.68712424	36.2557566	41.12277166	77.3785283	118.251	118251000
15062	MEXICO	4283	94.143501	4	29.23016832	19.77013521	45.14319747	64.9133327	75.861	75861000

Fuente: Elaboración propia a partir de normales climatológicas de la Red de Estaciones Climatológicas Nacional. Descriptores de contenido de la tabla: Pres (hm3/Año/PoIT) = Precipitación media anual por polígono de Thiessen en hectómetros<sup>3</sup>; TMA/PoIT = Temperatura media anual por polígono de Thiessen en °C; ETR (hm3/Año/PoIT) = Evapotranspiración media anual en hectómetros<sup>3</sup> por polígono de Thiessen; Q (hm3/Año/PoIT) = Escurrimiento superficial medio anual en hectómetros<sup>3</sup> por polígono de Thiessen; Infilt (hm3/Año/poIT) Infiltración media anual en hectómetros<sup>3</sup> por polígono de Thiessen; Disphm3Año Disponibilidad hídrica media anual en hectómetros<sup>3</sup> por polígono de Thiessen.

### 3.5. Hidroclimatología de la cuenca río Alto Amacuzac

A partir del uso de la metodología del polígono de Thiessen y los datos meteorológicos de las estaciones disponibles en la cuenca, se pudieron observar comportamientos espaciales de las variables climáticas que permiten perfilar el comportamiento de la cuenca de estudio. En primer lugar, se realizó una estimación de la precipitación media anual a lo largo del territorio de la cuenca, de este modo se pudo observar que los diferentes climas, altitudes y la orografía influyen determinantemente en el potencial de precipitación para cada polígono de Thiessen en la cuenca (Mapa 4), observando precipitaciones desde 803-949 mm hasta los 1263-1643 mm de precipitación, ambas condiciones presentes tanto en la parte alta y la parte baja de la cuenca.

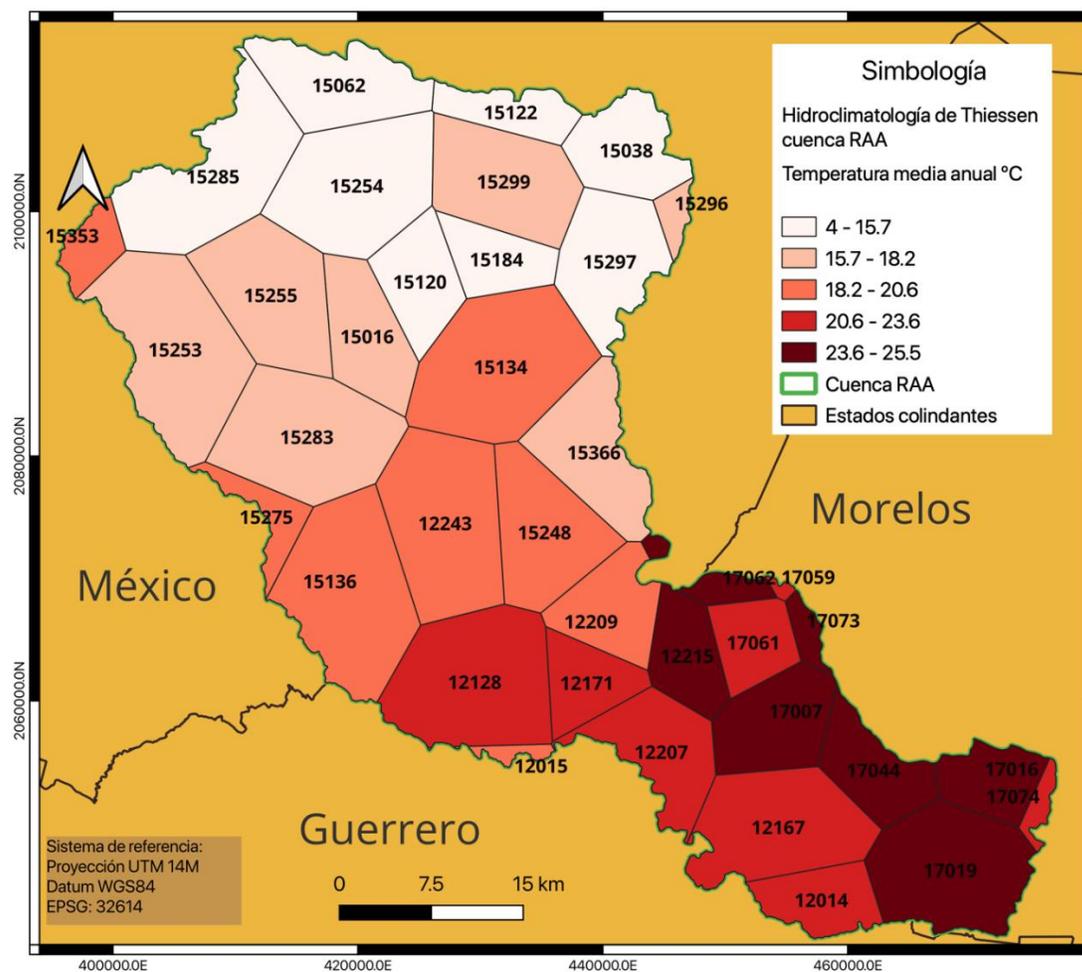
Mapa 4: Precipitación media anual de Thiessen de la cuenca río Alto Amacuzac.



Fuente: Elaboración propia a partir de polígonos de Thiessen y datos meteorológicos.

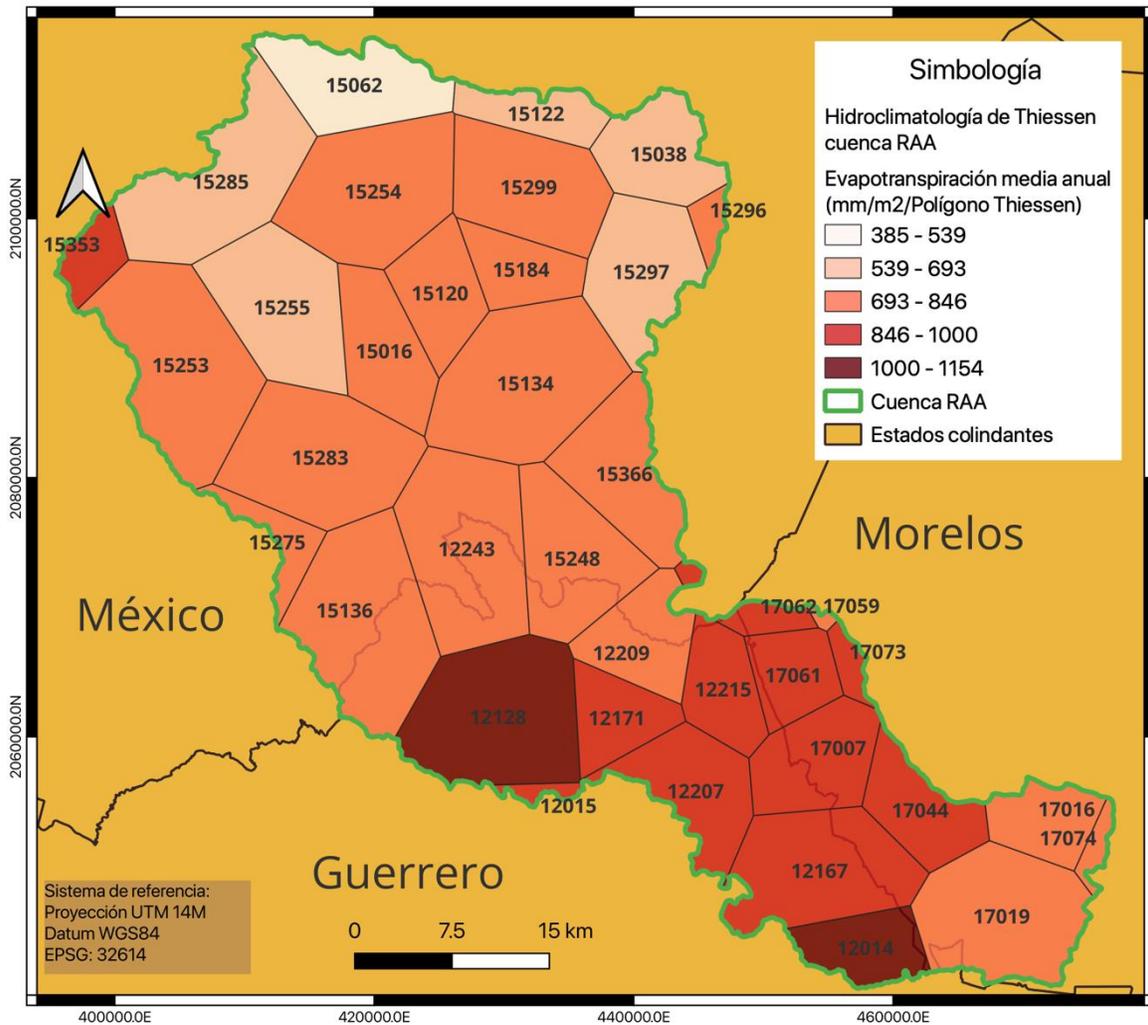
Otro parámetro de gran relevancia para llegar al balance hídrico de la cuenca fue estimar la evapotranspiración para cada polígono de Thiessen (Mapa 5), para esto se recurrió a la fórmula de Turc (Sanchez, 2022) que considera la precipitación media anual, la temperatura media anual y el factor L (calculado a partir de la temperatura media anual). Por lo cual, antes de calcularla se estimó la temperatura media anual de Thiessen mediante los datos de temperaturas medias anuales mínimas y máximas para los polígonos generados, de este modo se logró observar que la temperatura a lo largo de la cuenca responde coherentemente a lo esperado, conforme a la gradiente térmica vertical (Humphrey, 1909) y las diferencias de alturas a lo largo de la cuenca, con una mayor temperatura en la región baja de la cuenca y un menor en el alta, esta última, en la zona colindante al nevado de Toluca.

Mapa 5: Temperatura media anual de Thiessen de la cuenca río Alto Amacuzac.



Fuente: Elaboración propia a partir de polígonos de Thiessen y datos meteorológicos.

Mapa 6: Evapotranspiración media anual de Thiessen de la cuenca río Alto Amacuzac.

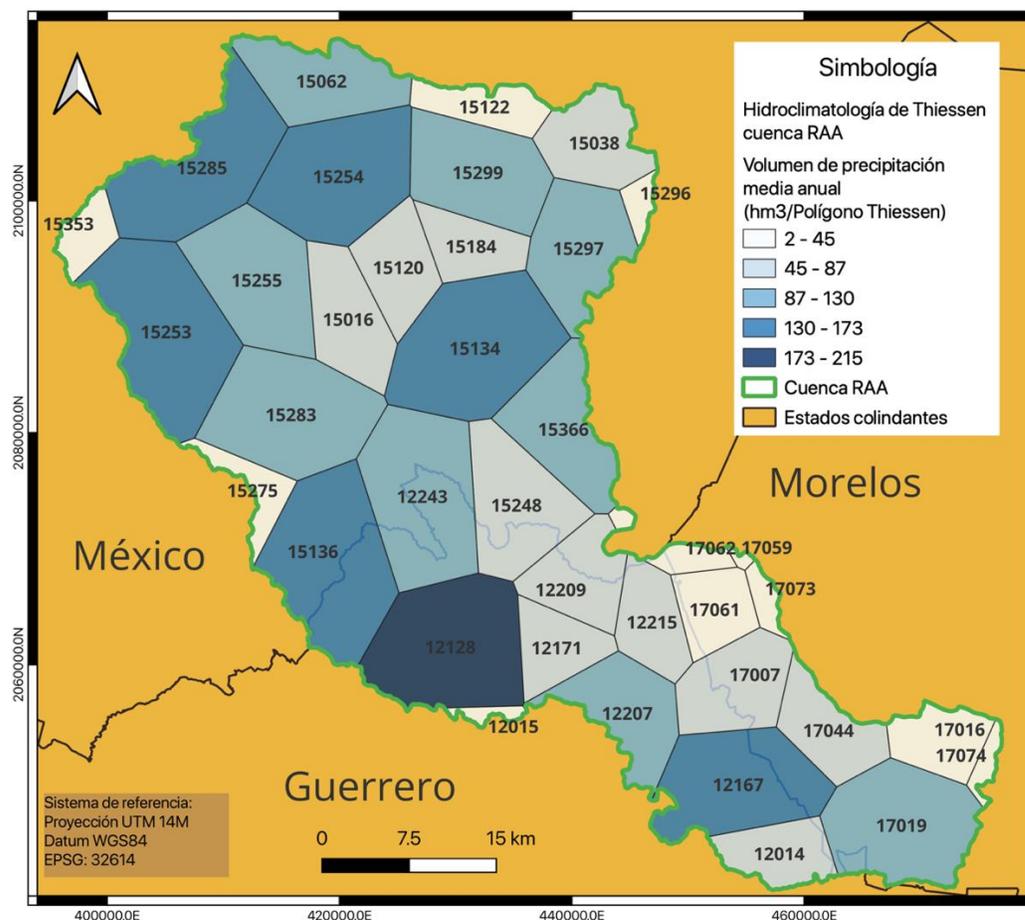


Fuente: Elaboración propia a partir de polígonos de Thiessen y datos meteorológicos.

Como se puede observar el comportamiento de la evapotranspiración tiene una fuerte correlación con la temperatura de las diversas zonas de la cuenca, sin embargo, no es directamente proporcional a esta, pues el grado de precipitación y otros factores como la altitud y la cobertura del suelo determinan los niveles específicos de evapotranspiración (Mapa 6). En este caso para la cuenca, se puede observar que las zonas bajas y medias presentan niveles más elevados de evapotranspiración, los cuales van desde los 693-846 mm en la zona media y hasta los 1000-1154 mm en la baja, esta última, implica niveles de evapotranspiración extrema, en donde los volúmenes de agua de precipitación que prevalecen en el territorio son significativamente bajos.

Posteriormente de contar con las variables básicas de precipitación media anual de Thiessen y de evapotranspiración media anual de Thiessen ambas en mm por m<sup>2</sup> para cada polígono de Thiessen en la cuenca, se procedió al cálculo del volumen de precipitación media anual para cada polígono (Mapa 7). Esto último se realizó extrapolando la precipitación y la evapotranspiración estimada en mm por m<sup>2</sup> a la superficie total en m<sup>2</sup> de cada polígono de Thiessen. De esta manera se obtuvo un estimado del volumen de precipitación en cada zona de la cuenca y para la cuenca en su totalidad. A pesar de que este cálculo en particular depende de la superficie de cada polígono, lo que limita la comparabilidad, esta cuantificación es de gran relevancia para el estudio, pues permite estimaciones zonificadas del ingreso del recurso hídrico y su relación con los egresos y consumos antropogénicos para cada zona de la cuenca con características particulares.

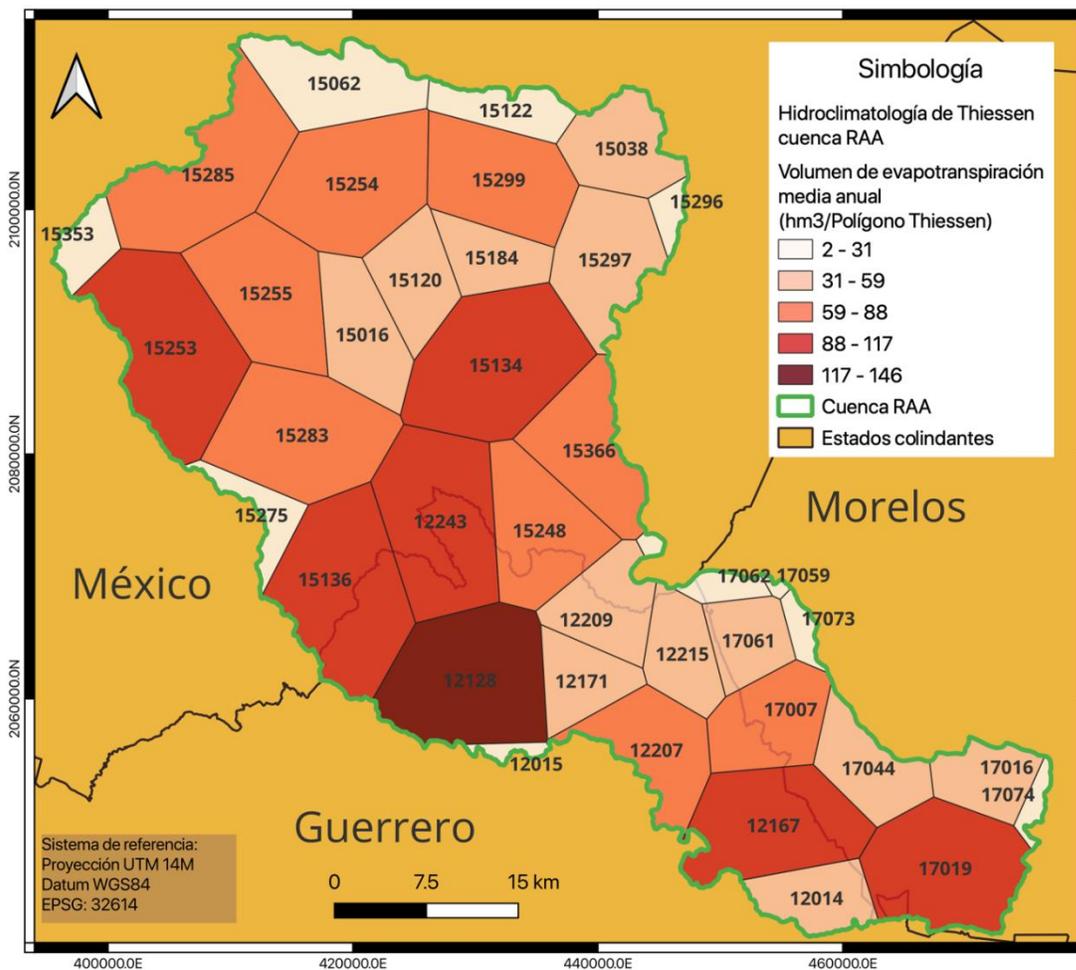
Mapa 7: Volumen de precipitación media anual de Thiessen de la cuenca río Alto Amacuzac.



Fuente: Elaboración propia a partir de polígonos de Thiessen y precipitación media anual.

Usando la misma modalidad de extrapolación anterior, se realizó el cálculo del volumen de agua perdida por evapotranspiración para cada polígono de Thiessen (Mapa 8). De este modo, se logró estimar el volumen de evapotranspiración anual en hectómetros cúbicos lo que nos permitió profundizar en la dinámica hidroclimática de la cuenca, en particular, se encontró que a pesar de que hubo zonas en la que la evapotranspiración tan solo represento un 31.8% de la precipitación y en las que alcanzo hasta un 92.8%, la precipitación promedio para la cuenca se encontró en el 72.8%, dato muy acorde a las estimaciones de SEMARNAT para México que sitúan el promedio nacional en 73% (SEMARNAT, 2002), condición que habla de la amplia variabilidad climática encontrado a lo largo de la cuenca y como esta condiciona realidades hidrológicas diversas.

Mapa 8: Volumen de precipitación media anual de Thiessen de la cuenca río Alto Amacuzac.



Fuente: Elaboración propia a partir de polígonos de Thiessen y precipitación media anual.

Continuando con la evaluación de los parámetros hidroclimáticos de la cuenca del río Alto Amacuzac, se procedió a la estimación del volumen de agua de escurrimiento o caudal superficial y el volumen de agua de infiltración para cada polígono de la cuenca (Cuadro 5). Para el caso del volumen de escurrimiento de Thiessen se recurrió a la fórmula de Sánchez (2022), para la cual se consideraron tres coeficientes de escurrimientos, tomados de un estudio sobre la cuenca del río Amacuzac, en donde El COLMEX (2020) determinó para las zonas alta, media y baja de la cuenca los valores de 0.21, 0.24 y 0.23 respectivamente, como coeficientes de escurrimiento, lo que permitió aplicar la fórmula y posteriormente, ajustar los resultados a su valor medio anual respecto a la superficie en m<sup>2</sup> para cada polígono de Thiessen.

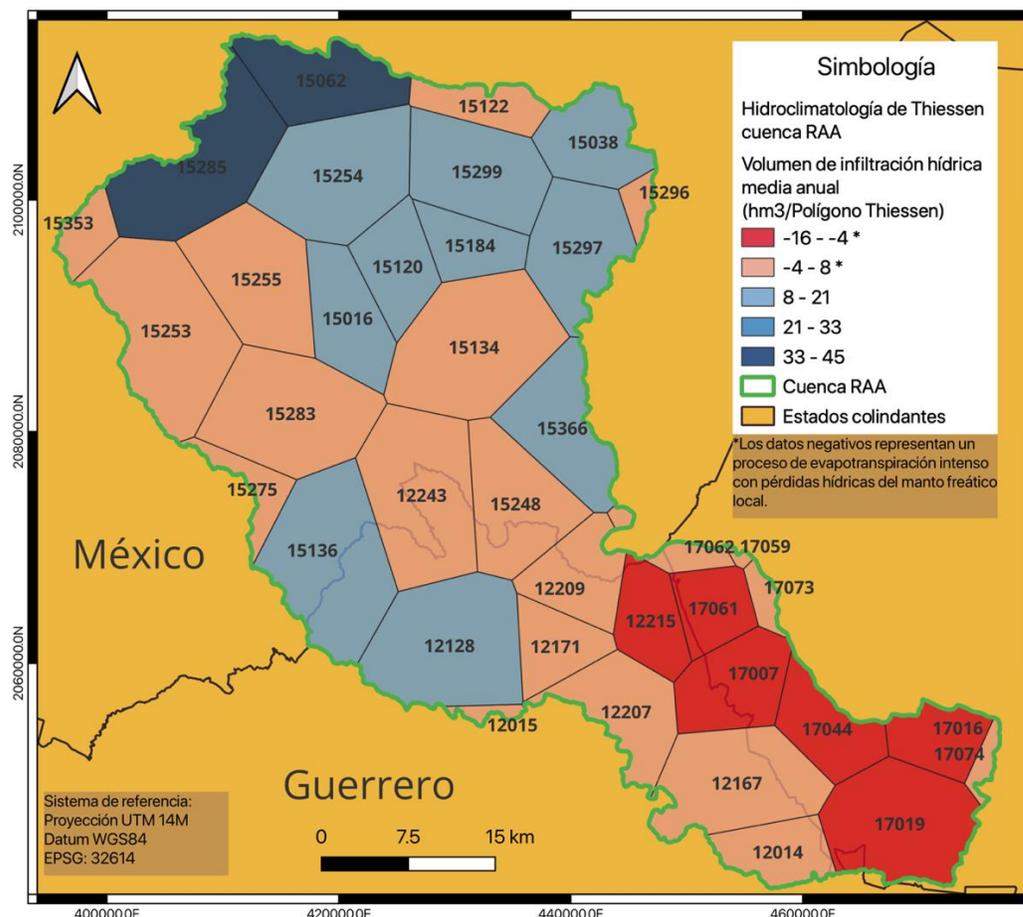
Cuadro 5: de precipitación, escurrimiento e infiltración media anual de Thiessen

Name Pol	Estado	Pres (hm <sup>3</sup> /Año/PolT)	Q (hm <sup>3</sup> /Año/PolT)	Infilt (hm <sup>3</sup> /Año/polT)	Area (m <sup>2</sup> )
17074	MORELOS	8.000435	1.84010005	-1.160123381	9530000
17016	MORELOS	35.8357365	8.242219395	-5.685515298	42687000
17007	MORELOS	77.1354865	17.7411619	-7.398003078	68171000
17073	MORELOS	11.341134	2.60846082	-1.35994069	11508000
12167	GUERRERO	139.74828	32.1421044	0.826491744	109392000
17059	MORELOS	2.043708	0.47005284	-0.256996254	2333000
17061	MORELOS	41.2520445	9.487970235	-3.853748642	41859000
17062	MORELOS	18.013772	4.14316756	-1.904532196	17626000
12215	GUERRERO	45.943937	10.56710551	-5.942973506	48413000
17044	MORELOS	53.2376955	12.24466997	-5.997101305	54021000
12171	GUERRERO	51.566032	11.86018736	-1.200035037	44149000
17019	MORELOS	102.220075	23.51061725	-15.99693139	112022000
12014	GUERRERO	75.3693975	17.33496143	5.095908819	45887000
12209	GUERRERO	64.6957755	14.88002837	2.915753539	57177000
15248	MEXICO	86.7131595	19.94402669	-2.650928271	87989000
12207	GUERRERO	89.91556	20.6805788	3.479797305	70384000
12243	GUERRERO	128.499126	29.55479898	0.253407904	125733000
12015	GUERRERO	7.8582675	1.807401525	0.08355193	6945000
12128	GUERRERO	215.3202525	49.52365808	20.23105437	131093000
15283	MEXICO	112.5869875	25.89500713	0.216069662	123383000
15353	MEXICO	32.9292415	7.573725545	4.528874233	24383000
15134	MEXICO	131.166035	30.16818805	-3.481397234	138215000
15366	MEXICO	95.8818135	22.05281711	9.725862451	79603000
15275	MEXICO	25.08207	5.7688761	-0.756434955	26430000
15253	MEXICO	135.439236	31.15102428	3.917053405	137432000
15136	MEXICO	165.543195	38.07493485	17.83340472	133395000
15296	MEXICO	15.3025155	3.519578565	3.087241976	11331000
15297	MEXICO	91.9513475	21.14880993	15.60433127	81265000
15184	MEXICO	52.756151	12.13391473	10.0341614	42511000
15120	MEXICO	73.4064275	16.88347833	15.73985287	54355000
15255	MEXICO	95.254926	22.86118224	5.039813468	100374000
15016	MEXICO	76.4748	18.353952	10.27517454	65475000
15299	MEXICO	116.402077	27.93649848	19.1634208	93797000
15254	MEXICO	135.404342	32.49704208	18.17930102	119668000
15038	MEXICO	64.354683	15.44512392	11.86471496	60798000
15122	MEXICO	29.517477	7.08419448	1.559140427	36759000
15285	MEXICO	151.0656525	36.2557566	41.12277166	118251000
15062	MEXICO	94.143501	19.77013521	45.14319747	75861000

Fuente: Elaboración propia. Descriptor de contenido de la tabla: Pres (hm<sup>3</sup>/Año/PolT) = Precipitación media anual por polígono de Thiessen en hectómetros<sup>3</sup>; Q (hm<sup>3</sup>/Año/PolT) = Escurrimiento superficial medio anual en hectómetros<sup>3</sup> por polígono de Thiessen; Infilt (hm<sup>3</sup>/Año/polT) Infiltración media anual en hectómetros<sup>3</sup> por polígono de Thiessen.

Para el caso de la infiltración se utilizó la fórmula general de balance hídrico, despejada para la determinación de la infiltración, lo que implica la sustracción de los volúmenes de agua de evapotranspiración y escurrimiento al volumen de precipitación total estimada, en este caso para cada polígono de Thiessen (Mapa 9). Con lo anterior, se posibilitó un acercamiento al comportamiento hidrológico de la cuenca en cuanto su proceso de infiltración y por ende de recarga de acuíferos, sin embargo, es importante mencionar que existen otras metodologías de mayor precisión para el cálculo de la infiltración, no obstante, dicho enfoque tomado es de utilidad para el presente estudio, dado que su fin es la evaluación de disponibilidad de recursos hídricos respecto a la precipitación total anual y no la evaluación precisa de los recursos hídricos subterráneos.

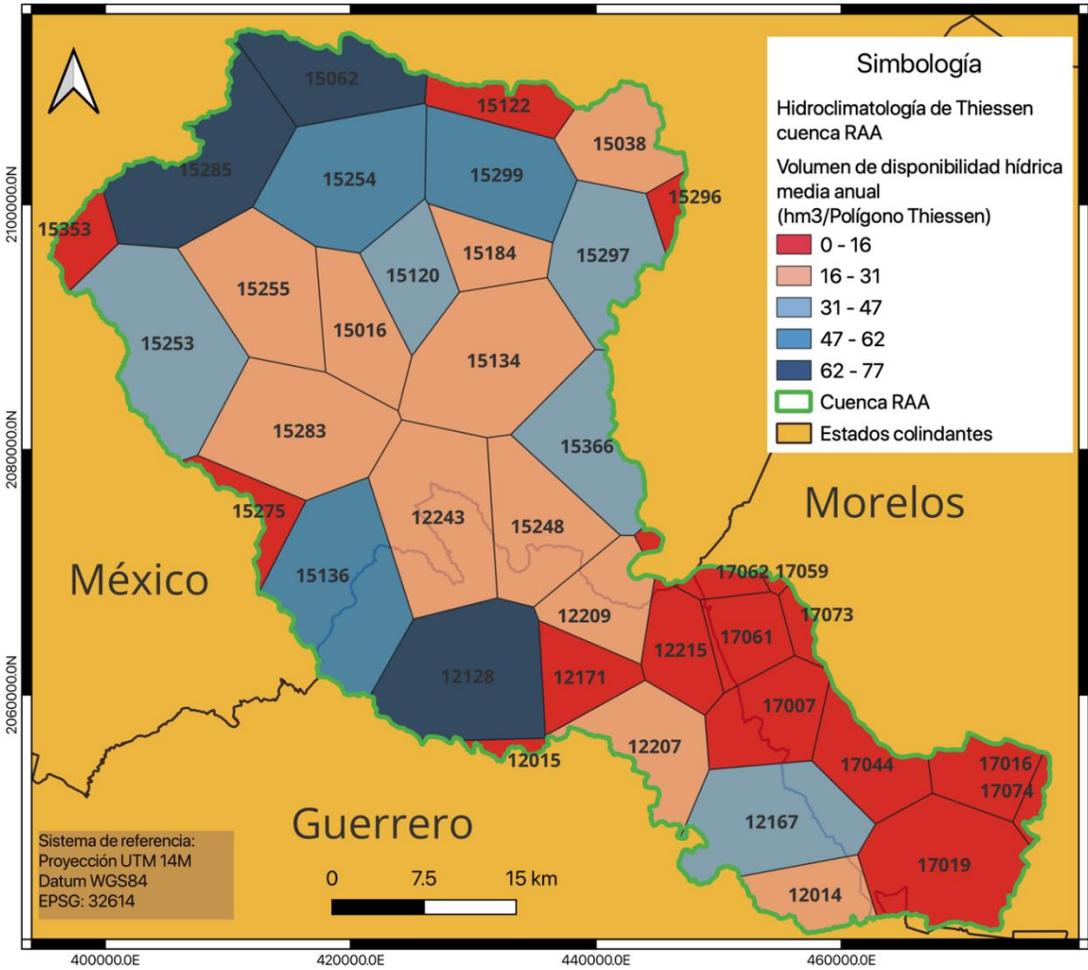
Mapa 9: Volumen de infiltración media anual de Thiessen de la cuenca río Alto Amacuzac.



Fuente: Elaboración propia, calculada a partir de polígonos de Thiessen, precipitación media anual y evapotranspiración media anual.

Una vez contando con las variables hidroclimáticas necesarias para estimar el volumen de agua natural disponible en la cuenca, así como la de sus diferentes regiones influenciadas según las características de cada polígono de Thiessen (mapa 10), se utilizó el volumen de precipitación media anual de Thiessen y el Volumen de evapotranspiración media anual de Thiessen para cada una de las zonas generadas y se realizó la sustracción de la evapotranspiración estimada a la precipitación estimada, considerando que tanto las variables de escurrimiento superficial como de infiltración son volúmenes de agua que no se substraen de la ecuación del balance hídrico de la cuenca, lo anterior dado que posteriormente se consideran los aprovechamientos antropogénicos a lo largo de la cuenta, tanto de fuentes superficiales como subterráneas.

Mapa 10: Volumen de disponibilidad hídrica media anual de Thiessen natural de la cuenca río Alto Amacuzac.



Fuente: Elaboración propia a partir de polígonos de Thiessen y precipitación media anual.

La conjunción de todas las variables hidroclimáticas así como factores geomorfológicos y de uso de suelo permiten la evaluación de los recursos hídricos de la cuenca de estudio, en particular permiten estimar su disponibilidad hídrica media anual natural en 891.4332014 hm<sup>3</sup>/año/Polígono de Thiessen (Cuadro 6), pero como hemos observado en los mapas anteriores, todo este procedimiento fundamentalmente ha permitido la zonificación en espacios geográficos, que posibilitan aumentar el nivel de resolución o detalle, en el análisis hídrico de la región, lo cual es de suma importancia, dado que el comportamiento hidroclimático no se puede explicar de manera uniforme a lo largo de toda la cuenca, pues las características de altitud, geomorfología, clima y cobertura de suelo no son iguales en sus diferentes espacios, sin embargo, para un análisis general de la cuenca es importante contemplar los resultados hidroclimáticos generales, los cuales permiten entender a un nivel macro la cuenca.

Cuadro 6: Variables hidroclimáticos totales para la cuenca RAA y por polígonos de Thiessen.

Name	Estado	hm3AñoPolV	ETRhm3Año	Q_hm3Año	Infilthm3Año	Disphm3Año	Area_Km2	Area_m2
17074	MORELOS	8.000435	7.3204583	1.8401001	-1.1601234	0.6799767	9.53	9530000
17016	MORELOS	35.835737	33.279032	8.2422194	-5.6855153	2.5567041	42.687	42687000
17007	MORELOS	77.135487	66.792328	17.741162	-7.3980031	10.343159	68.171	68171000
17073	MORELOS	11.341134	10.092614	2.6084608	-1.3599407	1.2485201	11.508	11508000
12167	GUERRERO	139.74828	106.77968	32.142104	0.8264917	32.968596	109.392	109392000
17059	MORELOS	2.043708	1.8306514	0.4700528	-0.2569963	0.2130566	2.333	2333000
17061	MORELOS	41.252045	35.617823	9.4879702	-3.8537486	5.6342216	41.859	41859000
17062	MORELOS	18.013772	15.775137	4.1431676	-1.9045322	2.2386354	17.626	17626000
12215	GUERRERO	45.943937	41.319805	10.567106	-5.9429735	4.624132	48.413	48413000
17044	MORELOS	53.237696	46.990127	12.24467	-5.9971013	6.2475687	54.021	54021000
12171	GUERRERO	51.566032	40.90588	11.860187	-1.200035	10.660152	44.149	44149000
17019	MORELOS	102.22008	94.706389	23.510617	-15.996931	7.5136859	112.022	112022000
12014	GUERRERO	75.369398	52.938527	17.334961	5.0959088	22.43087	45.887	45887000
12209	GUERRERO	64.695776	46.899994	14.880028	2.9157535	17.795782	57.177	57177000
15248	MEXICO	86.71316	69.420061	19.944027	-2.6509283	17.293098	87.989	87989000
12207	GUERRERO	89.91556	65.755184	20.680579	3.4797973	24.160376	70.384	70384000
12243	GUERRERO	128.49913	98.690919	29.554799	0.2534079	29.808207	125.733	125733000
12015	GUERRERO	7.8582675	5.967314	1.8074015	0.0835519	1.8909535	6.945	6945000
12128	GUERRERO	215.32025	145.56554	49.523658	20.231054	69.754712	131.093	131093000
15283	MEXICO	112.58699	86.475911	25.895007	0.2160697	26.111077	123.383	123383000
15353	MEXICO	32.929242	20.826642	7.5737255	4.5288742	12.1026	24.383	24383000
15134	MEXICO	131.16604	104.47924	30.168188	-3.4813972	26.686791	138.215	138215000
15366	MEXICO	95.881814	64.103134	22.052817	9.7258625	31.77868	79.603	79603000
15275	MEXICO	25.08207	20.069629	5.7688761	-0.756435	5.0124411	26.43	26430000
15253	MEXICO	135.43924	100.37116	31.151024	3.9170534	35.068078	137.432	137432000
15136	MEXICO	165.5432	109.63486	38.074935	17.833405	55.90834	133.395	133395000
15296	MEXICO	15.302516	8.695695	3.5195786	3.087242	6.6068205	11.331	11331000
15297	MEXICO	91.951348	55.198206	21.14881	15.604331	36.753141	81.265	81265000
15184	MEXICO	52.756151	30.588075	12.133915	10.034161	22.168076	42.511	42511000
15120	MEXICO	73.406428	40.783096	16.883478	15.739853	32.623331	54.355	54355000
15255	MEXICO	95.254926	67.35393	22.861182	5.0398135	27.900996	100.374	100374000
15016	MEXICO	76.4748	47.845673	18.353952	10.275175	28.629127	65.475	65475000
15299	MEXICO	116.40208	69.302158	27.936498	19.163421	47.099919	93.797	93797000
15254	MEXICO	135.40434	84.727999	32.497042	18.179301	50.676343	119.668	119668000
15038	MEXICO	64.354683	37.044844	15.445124	11.864715	27.309839	60.798	60798000
15122	MEXICO	29.517477	20.874142	7.0841945	1.5591404	8.6433349	36.759	36759000
15285	MEXICO	151.06565	73.687124	36.255757	41.122772	77.378528	118.251	118251000
15062	MEXICO	94.143501	29.230168	19.770135	45.143197	64.913333	75.861	75861000
<b>Total Cuenca RAA</b>		<b>2949.3724</b>	<b>2057.9392</b>	<b>683.15751</b>	<b>208.27569</b>	<b>891.4332</b>	<b>2610.205</b>	<b>2610205000</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de normales climatológicas.

### 3.6. Consumo hídrico antropogénico de la cuenca río Alto Amacuzac

El balance hídrico de una cuenca en términos hidroclimáticos implica únicamente la valoración del balance de masas respecto a factores ambientales como la precipitación, la evapotranspiración, la infiltración y el escurrimiento superficial, sin embargo, en la actualidad todo estudio territorial que trate el tema del agua y en particular un balance hídrico, debe contemplar los elementos antrópicos del territorio, así como las interacciones que dichos elementos suscita. Como menciona Vilchis et al. (2018) la importancia de los recursos hídricos para el desarrollo humano es fundamentales, pues estos garantizan sus funciones estratégicas en lo social, económico y ambiental o ecológico, considerando de esta manera un ciclo en donde la imbricación entre los elementos ambientales y antrópicos es indisoluble, a lo cual, el autor mencionado a nombrado ciclo hidrosocial o cuenca hidrosocial.

En los términos del concepto de cuenca hidrosocial, la actividad humana y el impacto que esta causa debe cuantificarse principalmente en términos del consumo que esta requiere para su desenvolvimiento en sociedad. Las actividades antrópicas que requieren de recursos hídricos para su desenvolvimiento son múltiples y muy variadas, sin embargo, para este estudio como ya se mencionó anteriormente, en el apartado de marco teórico, se utilizará la clasificación de CONAGUA (SINA, 2021) respecto a los usos consuntivos y no consuntivos aplicados al REPDA (Figura 8), enfocándonos en este caso a los usos consuntivos agrupados, que contemplan el uso agrícola, abastecimiento público, industrial y generación eléctrica (no incluyendo hidroeléctricas), resumidas en la siguiente tabla.

Figura 8: Uso de la clasificación del REPDA agrupada.

<b>Definición</b>	<b>Usos agrupados</b>
	<b>Uso consuntivo</b>
A+D+G+I+L	Agrícola
C+H	Abastecimiento público
B+E+F1+K	Industria autoabastecida
F2	Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad
	<b>Uso no consuntivo</b>
J	Hidroeléctricas
N	Conservación Ecológica

FUENTE: CONAGUA. 2020. Subdirección General de Administración del Agua

Fecha de última actualización: Octubre 2021

Para la evaluación del uso consuntivo (UC) de los recursos hídricos de la cuenca se recurrió a los registros del REPDA, el cual genera un reporte anual de los volúmenes de agua concesionada para su uso, en las distintas categorías ya mencionadas, además de lo anterior, dichos reportes incluyen los volúmenes de agua concesionada según su origen (subterráneo o superficial), en ambos casos los reportes se presentan a nivel municipal para toda la república mexicana. Es importante mencionar que derivado a que los reportes del REPDA son a nivel municipal y el presente estudio es a nivel cuenca, en muchos casos los municipios dentro de la cuenca no presentan la totalidad de su superficie dentro del parteaguas de la cuenca, por lo cual, en estos casos, los valores de uso consuntivo reportados se ajustaron a la superficie real de la fracción de los municipios que se encuentran dentro de la cuenca (Cuadro 7).

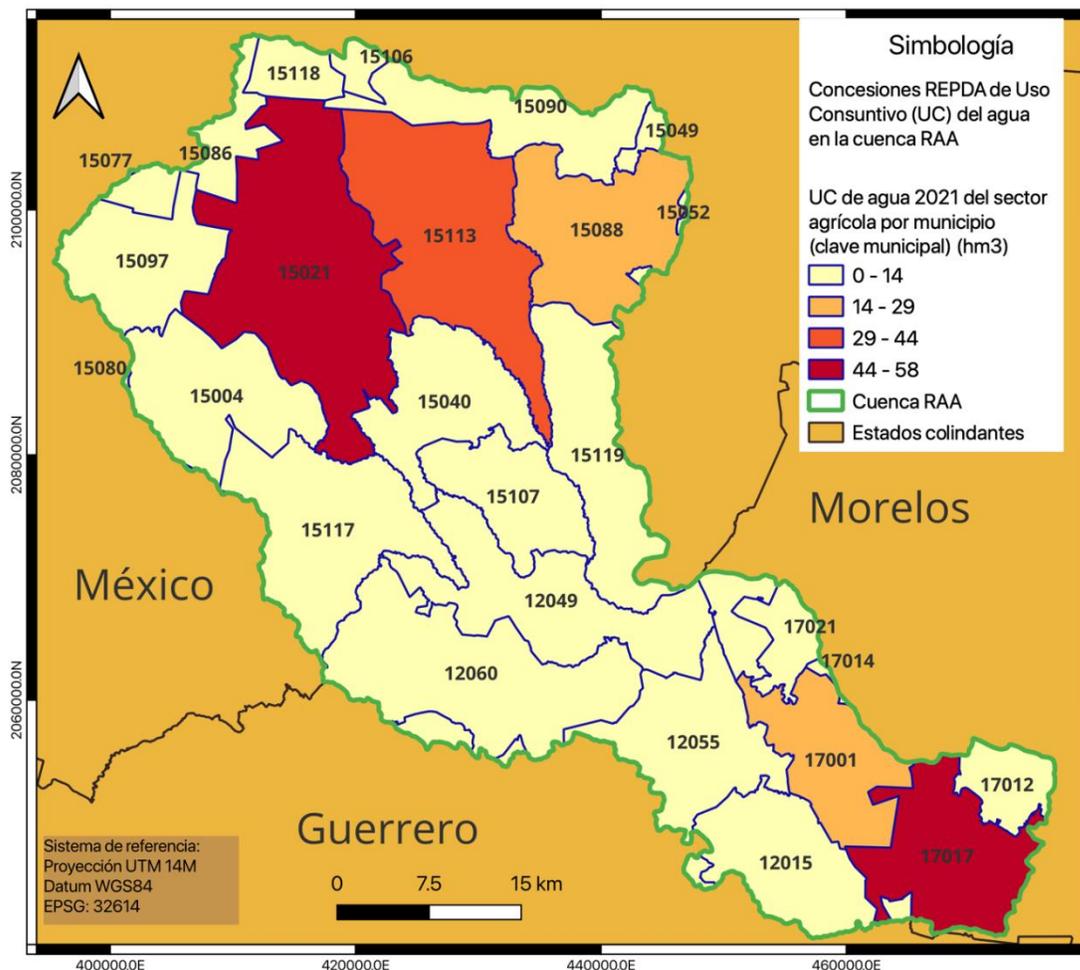
Cuadro 7: Registros de uso consuntivo de agua por categoría de uso a nivel municipal y su ajuste al área municipal dentro de la cuenca.

id municipio	Nombre municipio	Nombre estado	Datos REPDA originales						Datos REPDA ajustados al área dentro de la cuenca					
			Área original (m2)	UC agrícola	UC A. público	UC industrial	UC termoeléctricas	Volumen concesionado	Área ajustada (m2)	UC agrícola	UC A. público	UC industrial	UC termoeléctricas	Volumen concesionado
12055	Taxco de Alarcón	Guerrero	650233014	5.914	16.982	0.419	0	23.314	146025948	1.328	3.814	0.094	0	5.236
12049	Pilcaya	Guerrero	162168334	6.362	1.35	0	0	7.713	162093340	6.359	1.349	0	0	7.709
12060	Tetipac	Guerrero	217655195	4.374	1.457	0	0	5.831	207897655	4.178	1.392	0	0	5.57
12015	Buenavista de Cuéllar	Guerrero	303751347	1.71	1.886	0.001	0	3.597	113779991	0.641	0.706	0	0	1.347
15040	Ixtapan de la Sal	México	115045026	9.961	4.653	0.687	0	15.301	115045026	9.961	4.653	0.687	0	15.301
15088	Tenancingo	México	164527379	20.556	9.103	0.04	0	29.699	146333881	18.283	8.096	0.036	0	26.415
15090	Tenango del Valle	México	210913730	3.338	4.152	0.07	0	7.56	103096793	1.632	2.03	0.034	0	3.695
15021	Coatepec Harinas	México	289057901	57.819	2.338	0.013	0	60.169	289057901	57.819	2.338	0.013	0	60.169
15077	San Simón de Guerrero	México	130706122	0.122	0.748	0	0	0.87	294363.613	0	0.002	0	0	0.002
15107	Tonatico	México	90089481	7.874	2.181	0.631	0	10.686	90089481	7.874	2.181	0.631	0	10.686
15118	Zinacantepec	México	310159078	5.287	8.164	2.761	0	16.212	30918511.3	0.527	0.814	0.275	0	1.616
15080	Sultepec	México	565845549	0.129	2.962	0.002	0	3.093	937068.985	0	0.005	0	0	0.005
15086	Temascaltepec	México	568010939	30.167	13.227	0.192	0	43.586	56019289	2.975	1.304	0.019	0	4.299
15004	Almoloya de Alquisirás	México	170854367	2.818	1.59	0	0	4.408	131565238	2.17	1.224	0	0	3.394
15106	Toluca	México	426521100	9.981	99.69	26.943	0	136.614	13657624.7	0.32	3.192	0.863	0	4.375
15119	Zumpahuacán	México	202208277	8.37	2.114	0.004	0	10.488	136334303	5.643	1.425	0.003	0	7.071
15113	Villa Guerrero	México	225946210	43.908	4.783	0.365	0	49.056	225946210	43.908	4.783	0.365	0	49.056
15097	Texcaltitlán	México	145375631	4.668	1.83	0	0	6.499	105749828	3.396	1.331	0	0	4.728
15049	Joquicingo	México	46024392.5	0	2.521	0	0	2.521	10257931.2	0	0.562	0	0	0.562
15052	Malinalco	México	209796159	43.117	3.783	0.046	0	46.946	3430196.64	0.705	0.062	0.001	0	0.768
15117	Zacualpan	México	291943149	3.492	1.434	0.014	0	4.94	172888339	2.068	0.849	0.008	0	2.925
17017	Puente de Ixtla	Morelos	237026706	99.429	3.95	0.848	0	104.227	132731529	55.679	2.212	0.475	0	58.366
17014	Azatepec	Morelos	57863153.2	13.544	0.879	0.064	0	14.486	2206881.52	0.517	0.034	0.002	0	0.552
17001	Amacuzac	Morelos	117151252	16.874	1.547	0.004	0	18.425	105266215	15.162	1.39	0.004	0	16.556
17012	Jojutla	Morelos	148894127	44.016	6.383	5.312	0	55.711	41492007.5	12.266	1.779	1.48	0	15.525
17021	Tetecala	Morelos	67632437.4	6.333	0.474	0.005	0	6.812	35699624.6	3.343	0.25	0.003	0	3.596
17005	Coatlán del Río	Morelos	83336698.8	8.896	0.953	0.426	0	10.274	31391966.3	3.351	0.359	0.16	0	3.87
<b>Total concesionado por rubro y total</b>			<b>6208736755</b>	<b>459.06</b>	<b>201.13</b>	<b>38.847</b>	<b>0</b>	<b>699.038</b>	<b>2610207145</b>	<b>260.11</b>	<b>48.136</b>	<b>5.153</b>	<b>0</b>	<b>313.394</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros del REPDA (CONAGUA, 2021). Todos los UC están reportados en hm<sup>3</sup> por año para cada categoría y para el total concesionado.

En un primer momento, es destacable observar que la actividad agrícola en la cuenca acapara el 82.9% del agua concesionada total, dato consistente y un tanto por encima del promedio nacional de uso consuntivo agrícola de agua, el cual oscila entre un 65% y 70% para los últimos 10 años (SINA, 2021). Lo anterior permite inferir una posible fuerte actividad agrícola dentro del área de la cuenca, sin embargo, es necesario abordar la composición espacial de esta información de UC agrícola del agua, para poder caracterizar con mayor precisión el fenómeno. Con dicho fin, podemos observar en el siguiente mapa (Mapa 11) que, en cuanto a volúmenes de agua concesionada a lo largo de la cuenca, los municipios del corredor florícola del Edo. Mex. y los municipios de Amacuzac y Puente de Ixtla en el estado de Morelos, dominan el acaparamiento del recurso hídrico destinadas a la agricultura.

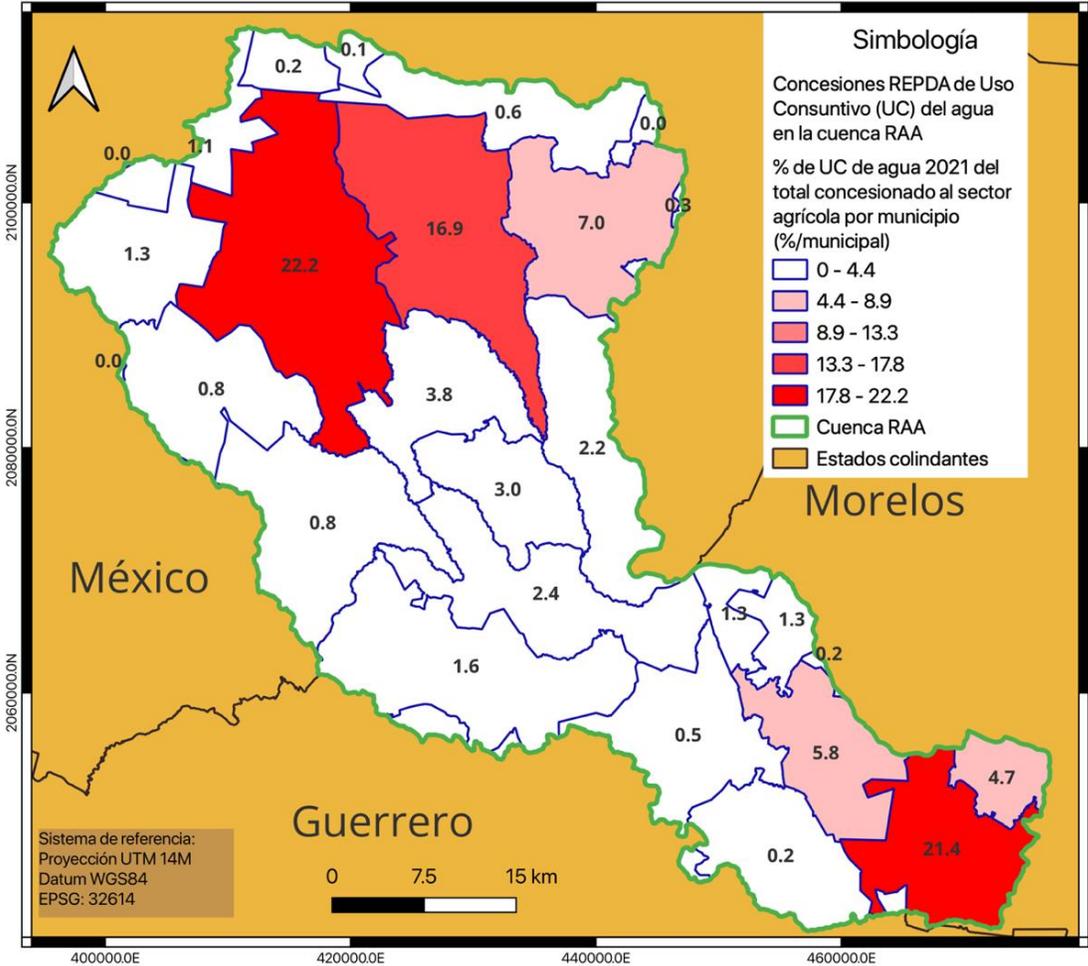
Mapa 11: Volumen de UC de agua 2021 del sector agrícola por municipio en la cuenca RAA.



Fuente: elaboración propia, a partir de reportes anuales de concesiones de agua del REPDA.

Considerando el mapa anterior es importante mencionar que, los volúmenes brutos de agua concesionada al sector agrícola no son la mejor variable a utilizar para comprender la intensidad de actividad de este sector productivo, dado que factores de concentración de la actividad como los tamaños de los municipios no son directamente equiparables, por lo cual, a continuación, se presentan los porcentajes de volumen de agua concesionada para la agricultura, para cada municipio o fracción de este, respecto al total concesionado en la cuenca (Mapa 12). Mediante tal enfoque se facilita observar que, respecto al total de agua concesionada en la cuenca, tan solo tres municipios acaparan el 60.5% del recurso total, esto de un total de 27 municipios presentes en el área de estudio, lo que se presenta como un posibles indicativo de la concentración de la actividad.

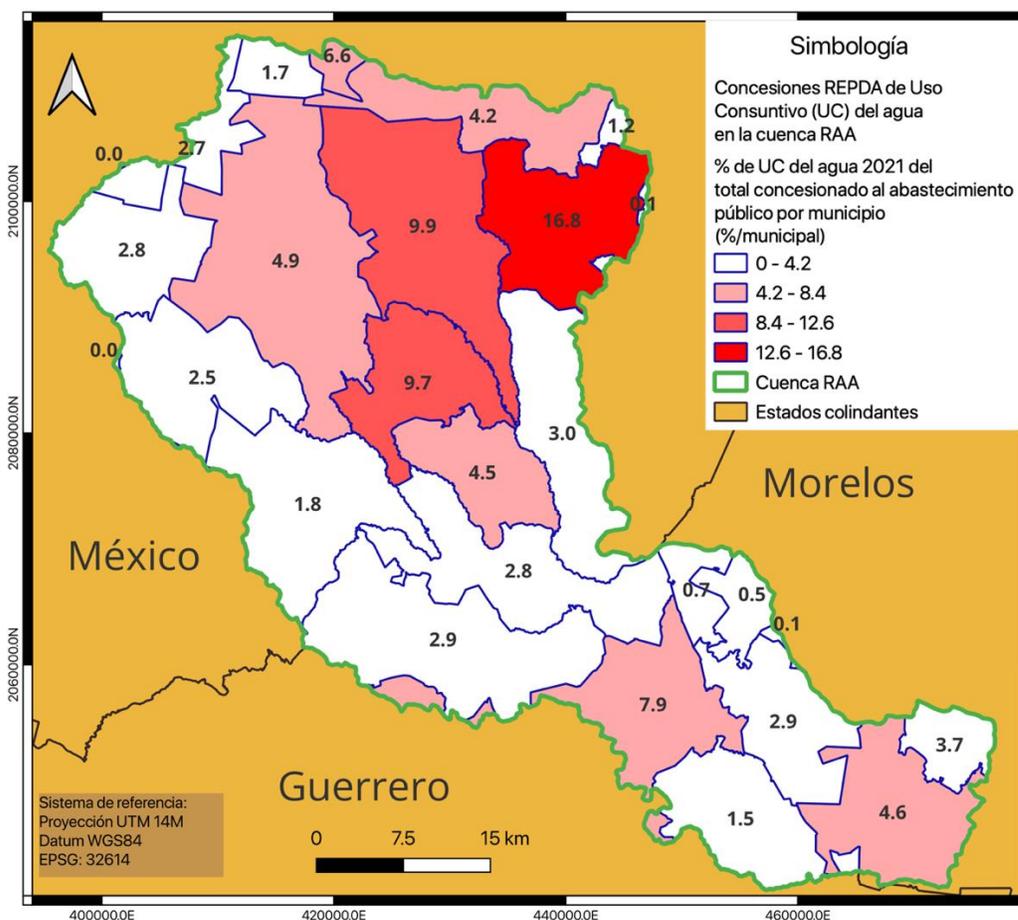
Mapa 12: Porcentaje de UC de agua 2021 del sector agrícola por municipio en la cuenca RAA.



Fuente: elaboración propia, a partir de reportes anuales de concesiones de agua del REPDA.

Otro factor relevante en el análisis del uso consuntivo de los recursos hídricos de la cuenca es el destinado para el abastecimiento público de los municipios de la región, el cual representa un 15.53% del total de concesiones en el reporte anual del REPDA (Mapa 13). Estos datos se presentan a nivel municipal, lo que implica que no permite desagregar esta información a nivel localidad, acotando de esta manera la profundidad del análisis, esto dado que, el volumen de agua concesionado a este rubro depende en gran medida del tamaño de la población local y de su nivel de urbanización, para los diferentes asentamientos humanos a lo largo de la cuenca, no obstante, con el análisis a nivel municipal podemos observar que la región alta de la cuenca concentra los mayores porcentajes de agua concesionada para abastecimiento público, respecto al total concesionado en la cuenca al mismo rubro.

Mapa 13: Porcentaje de UC del agua 2021 para abastecimiento público por municipio en la cuenca RAA.

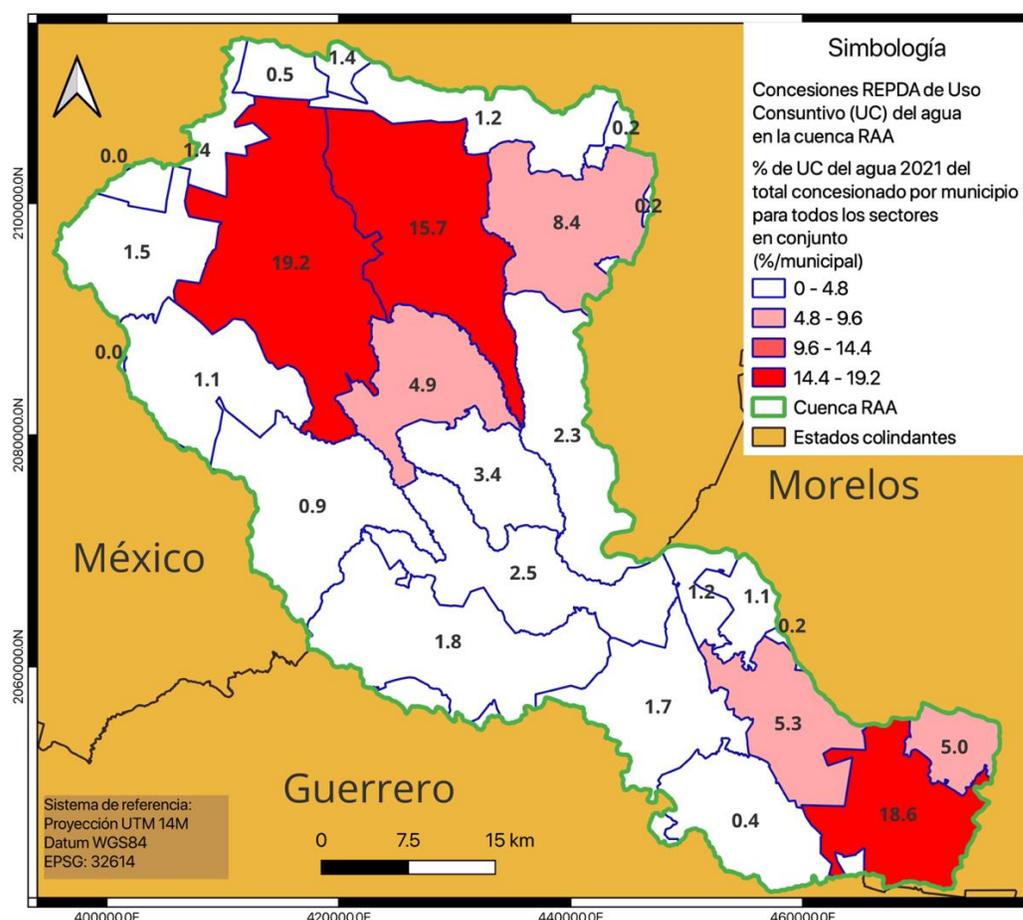


Fuente: elaboración propia, a partir de reportes anuales de concesiones de agua del REPDA.



Englobando todos los rubros que presentan un UC del agua en la cuenca de estudio, se puede observar que la distribución de los volúmenes de agua concesionada global (Mapa 15) se correlaciona de manera fuerte con la de UC agrícola, esto dado que esta última, representa el mayor porcentaje de UC de los diferentes rubros reportados. Además de lo anterior, la distribución del agua concesionada en la cuenca para abastecimiento público se encuentra ubicada en clústeres que se traslapan o sobrepone a los agrupamientos de municipios con mayor demanda hídrica para la agricultura, de tal manera que dichos clústeres y la distribución de municipios con mayor demanda hídrica global permiten central determinar cuáles de estos están en riegos de presentar un nivel elevado de estrés hídrico que dificulte el acceso al agua por parte de las poblaciones locales.

Mapa 15: Porcentaje de UC del agua 2021 del total concesionado por municipio en la cuenca RAA.



Fuente: elaboración propia, a partir de reportes anuales de concesiones de agua del REPDA.

### 3.7. Composición demográfica de la cuenca río Alto Amacuzac

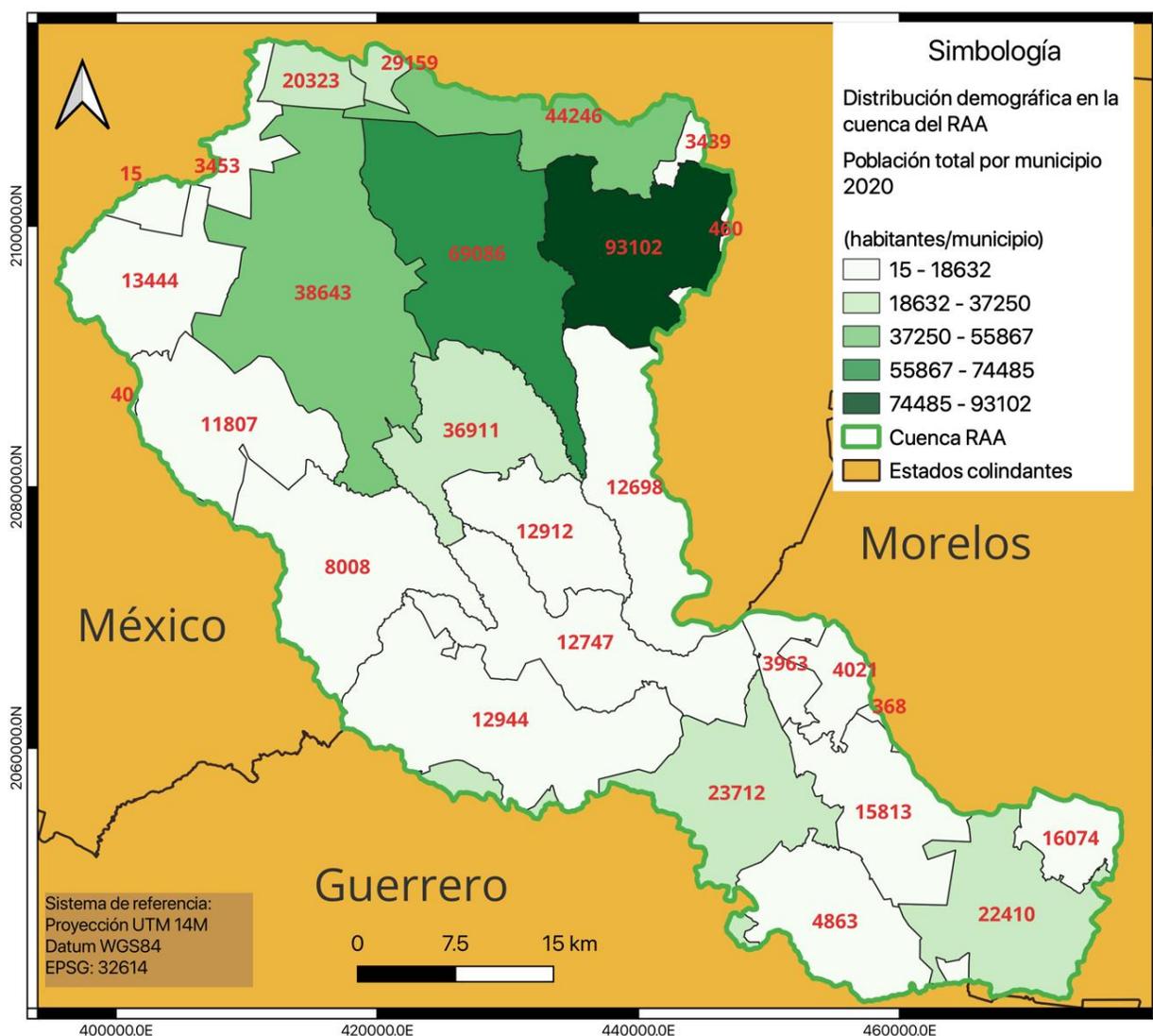
Como se pudo ver en la sección anterior, múltiples categorías de la actividad antrópica sobre el territorio y claramente sobre el ambiente y los recursos naturales que lo componen, inciden directamente con los componentes hidrológicos, es dado que, la actividad humana en sus dimensiones de lo social, lo económico y lo cultural se encuentran en un delicado equilibrio ecológico con respecto a lo natural o medioambiental. De este modo, las categorías de UC antropogénicas que ya pudimos observar están directamente relacionadas con la población que habita el territorio y las dinámicas que su desarrollo social requiere.

Por lo cual el análisis demográfico de las poblaciones asentadas a lo largo de la cuenca del río Alto Amacuzac cobra una vital importancia, esto principalmente en la dimensión de su distribución espacial, su concentración, su desarrollo y la relación de dicha composición demográfica con los recursos hídricos disponibles o la escasez de estos. Para esto, se recurrió a los resultados del censo de población y vivienda 2020 (INEGI, 2020), en los cuales podemos encontrar la información más reciente en materia demográfica nacional, que para este estudio se centra en la población total por municipio, pues la escala de análisis al ser de nivel cuenca dificulta abordar la información de nivel localidad.

El presente estudio no aborda características demográficas de la población por género ni edad, dado que el enfoque deseado, busca esencialmente establecer las posibles zonas de estrés hídrico para los pobladores de la región de la cuenca de estudio. Es así que, para el análisis espacial de la población se recurrió al sistema de consulta del Conjunto de datos: Población total, del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021), en donde por estado de la república, para las tres entidades que componen el área de la cuenca, se descargaron sus bases de datos de población del censo 2020 a nivel municipio, las cuales fueron filtradas y tratadas para conservar los municipios de interés a la región y los datos de población así como sus claves de entidad y claves de municipio, siendo esta última el punto de enlace para unificar la base de datos del censo 2020 con las geometrías vectoriales de los municipios coincidentes con el área de la cuenca de estudio. El recurso vectorial utilizado para esto fue la división política municipal 1:25000 del INEGI (CONABIO, 2022).

En primer lugar, a partir del censo 2020 se tomaron las poblaciones totales por municipio, sin embargo, dado que muchos municipios se encuentran solo parcialmente dentro del área de la cuenca, se realizó un ajuste respecto al dato de población total por municipio calculando la fracción de población correspondiente al área del municipio dentro de la cuenca (Mapa 16), y aunque este no es el método más ortodoxo para estimar la población de esas fracciones de los municipios dentro de la cuenca, permite aproximar el comportamiento de la población para el área total de la cuenca del río Alto Amacuzac, considerando el impacto potencial de la población sobre las fuentes subterráneas.

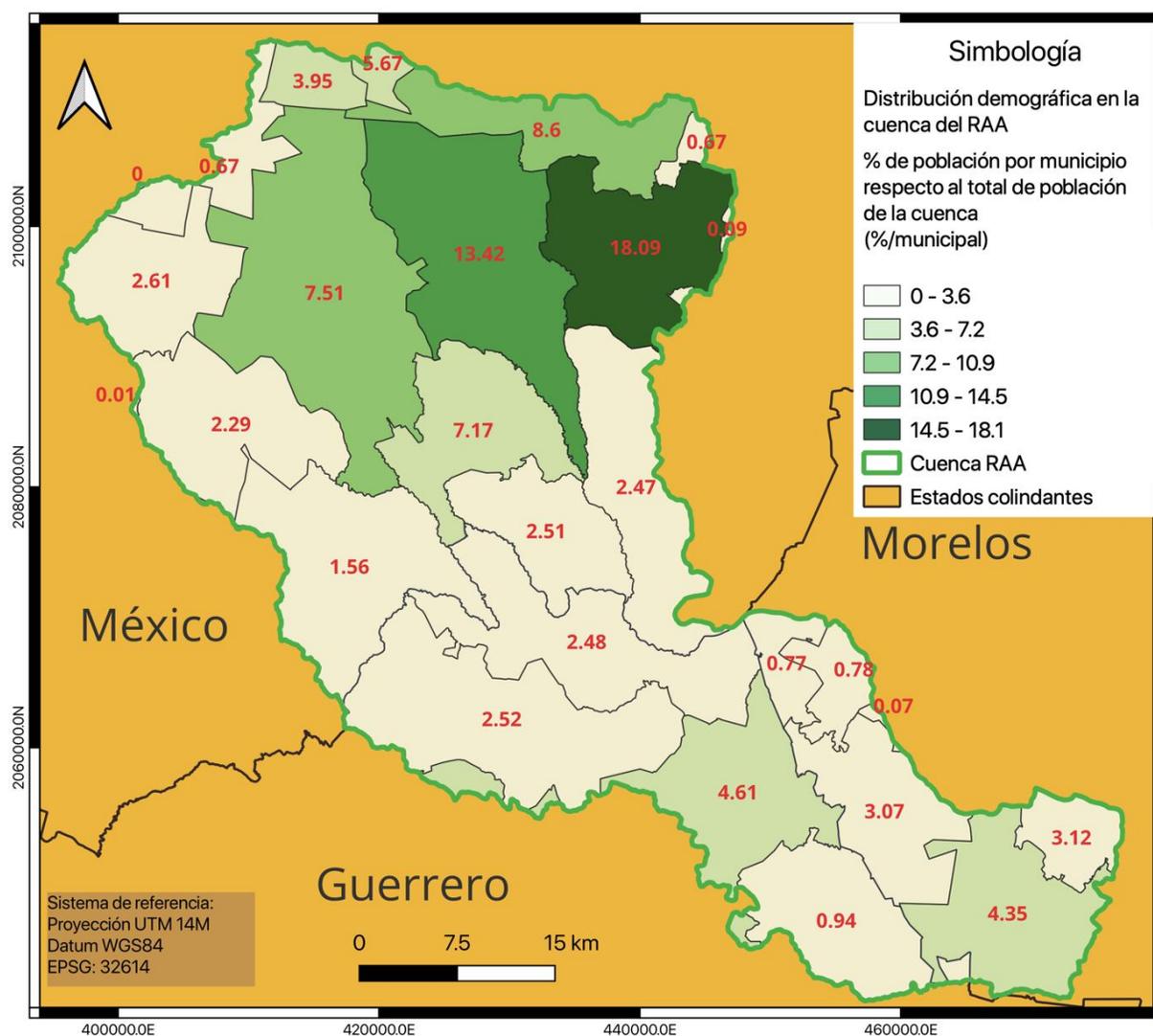
Mapa 16: Población total 2020 por municipio o porción de municipio en la cuenca RAA.



Fuente: elaboración propia a partir del censo de población y vivienda 2020 (INEGI, 2020).

Como ya se pudo observar en el mapa anterior, la concentración de población dominante en la cuenca se encuentra en la región alta de la misma, correspondiente casi exclusivamente al Estado de México, del cual tan solo seis municipios de este representan el 60.4% de la población total de la cuenca, destacando por sobre los demás el municipio de Tenancingo con un 18% del total (Mapa 17). Esto último, de gran relevancia en múltiples dimensiones de análisis para el presente estudio, dado que tanto la intensidad de UC para el abastecimiento público como el resto de las categorías con UC reportado, dependen directamente de la concentración poblacional sobre el territorio y el nivel de desarrollo o dinamismo socioeconómico presente, condiciones que caracterizan el panorama hidrosocial de la cuenca.

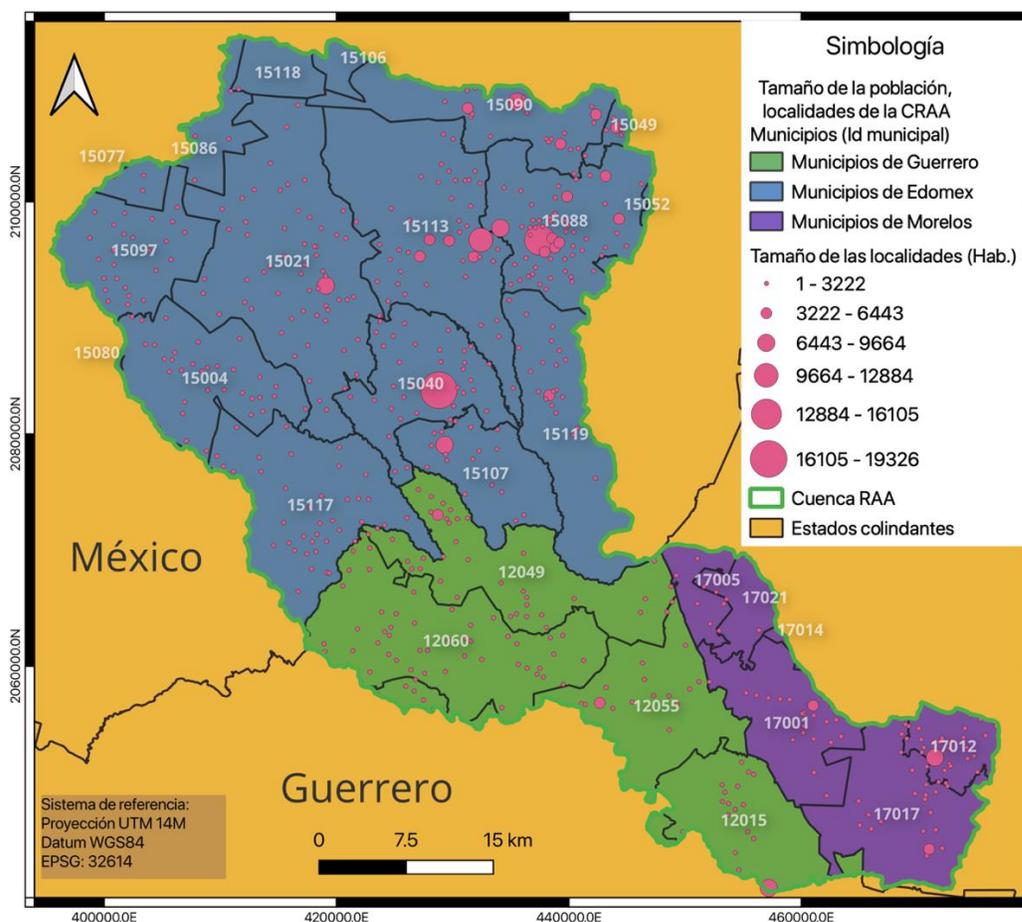
Mapa 17: Porcentaje de población por municipio respecto al total de la cuenca RAA.



Fuente: elaboración propia a partir del censo de población y vivienda 2020 (INEGI, 2020).

Al igual que la población por municipio y el porcentaje de población municipal respecto a la población de la cuenca. La distribución de los asentamientos humanos a lo largo de esta, es una variable muy relevante, pues como se puede observar en el siguiente mapa (Mapa 18), la distribución demográfica de la población en los diferentes municipios y estados no es uniforme, existiendo clústeres de asentamientos humanos que no necesariamente se corresponden con el tamaño de población reportado para los municipios, pues al ser una cuenca de tamaño medio, existen un amplio margen del territorio de carácter rural, con presencia de comunidades pequeñas o muy pequeñas desde 50 habitantes, todo este conjunto de variables demográficas y espaciales, acentúan la necesidad de analizar desde distintas dimensiones el fenómeno poblacional en el territorio de la cuenca del río Alto Amacuzac y su relación con el desenvolvimiento del ciclo hidrosocial presente en el lugar.

Mapa 18: Ubicación y tamaño poblacional de las comunidades en la cuenca RAA.



Fuente: elaboración propia a partir del censo de población y vivienda 2020 (INEGI, 2020).

### 3.8. Zonificación de áreas de estrés hídrico natural y de acceso al agua por parte de la población de la cuenca del río Alto Amacuzac.

En este apartado se utilizará la información de las secciones anteriores para determinar zonas de la cuenca que se encuentran en una condición de estrés o riesgo hídrico. En este trabajo ya se ha estimado un volumen de disponibilidad hídrica media anual natural y un uso consuntivo (UC) del agua, ambos en unidades geográficas diferentes, mientras el primero se encuentra estimado a partir de los polígonos de Thiessen, mismos que permitieron extrapolar datos climatológicos a lo largo de la superficie de la cuenca, el segundo, parte de los reportes del REPDA, este último compuesto por los registros administrativos de UC de agua para los principales rubros de actividad humana y presentados a nivel municipal.

Dadas las características de la información disponible, para la evaluación del estrés hídrico a lo largo de la cuenca, se conjugaron los datos de los polígonos hidroclimáticos de Thiessen y los referentes al uso antropogénico del agua, según los registros de concesiones del REPDA a nivel municipal, para fraccionar ambas geometrías en una sola, logrando así que los municipios fueran segmentados en zonas (polígonos) con características hidroclimáticas diferenciales, permitiendo de ese modo que las unidades geográficas municipales adquirieran los diferentes atributos hidroclimáticos para cada zona de su territorio, a la vez que, se logró conservar su base de datos de consumo antropogénico del agua.

Para lograr lo anterior, los municipios se dividieron en múltiples polígonos, con atributos de UC del agua a partir de los registros del REPDA, tales consumos fueron fraccionados a partir de los volúmenes reportados para el área municipal entera, según el área de los nuevos polígonos (Mapas 19). Además de los consumos, dichos polígonos recibieron los datos hidroclimáticos de los polígonos de Thiessen, en este caso, los volúmenes fraccionados o ajustados a la parte proporcional de área de los polígonos de Thiessen, respecto al Volumen de disponibilidad hídrica media anual de Thiessen natural de los polígonos originales. Con lo anterior se obtuvo una capa vectorial que permitió abstraer el consumo antropogénico a la disponibilidad hídrica natural, generando de este modo una estimación de la disponibilidad hídrica real de la cuenca, logrando de este modo una mejor caracterización del ciclo hidrosocial de la cuenca y una identificación zonificada del estrés hídrico natural y social.

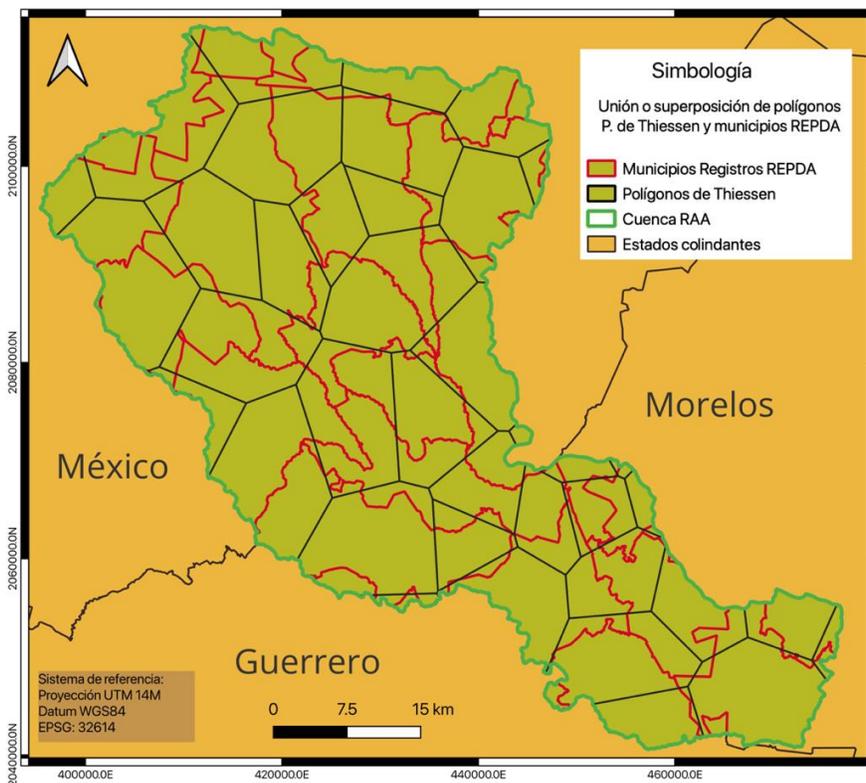
Mapas 19: Proceso de imbricación de capas de polígonos hidroclimáticos de Thiessen y de registros de uso consuntivo de agua a partir de concesiones emitidas por el REPDA.



Mapa A: polígonos hidroclimáticos de Thiessen.



Mapa B: Uso consuntivo del agua por municipio.

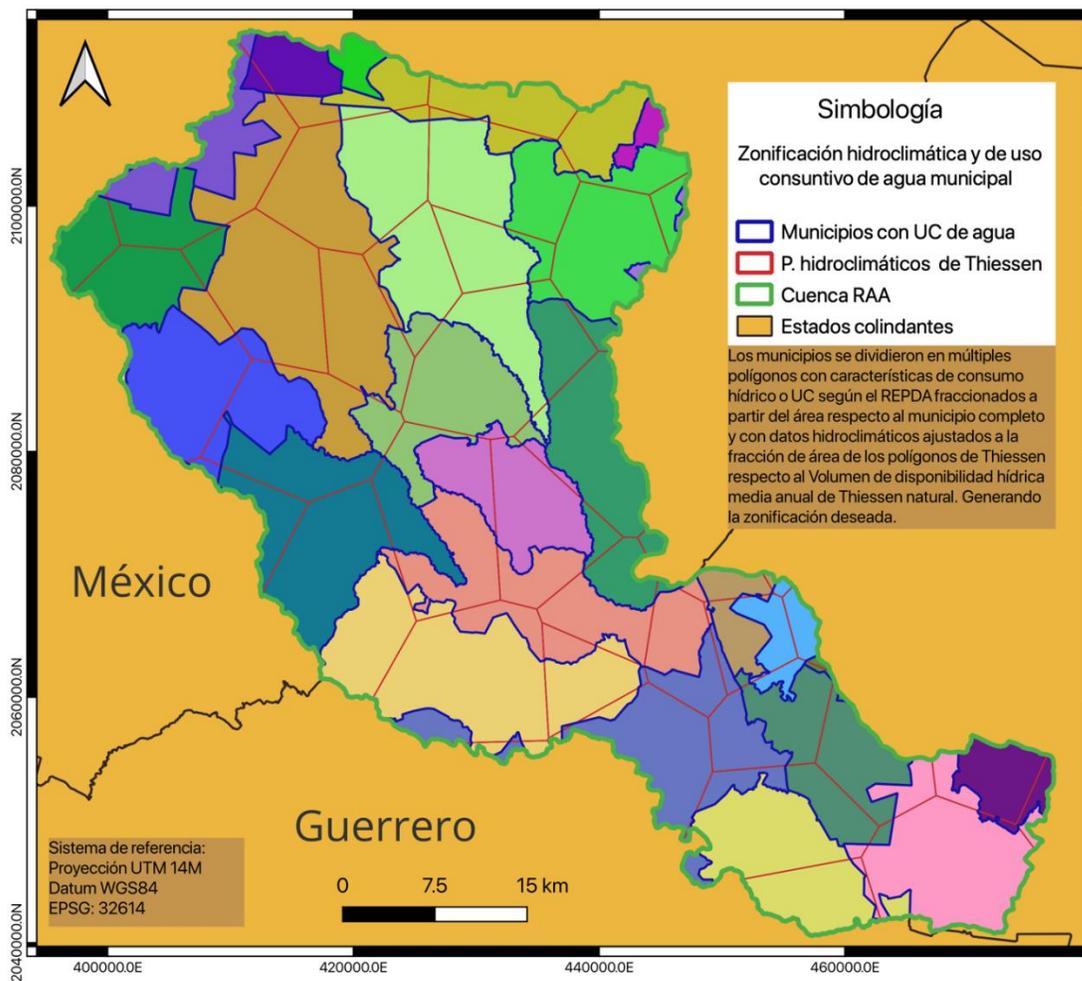


Mapa: imbricación de mapas A y B. Zonificación por municipio y combinación de sus bases de datos.

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas A y B, mediante la función intersección en el software QGIS.

Posteriormente a la imbricación de las capas de polígonos hidroclimáticos de Thiessen y de registros de uso consuntivo de agua, se generó una capa vectorial con los sectores de los municipios según sus diferentes características hidroclimáticas. A partir de la nueva zonificación municipal, se calculó para cada una de estas nuevas zonas las partes proporcionales de uso consuntivo de agua (REPDA) y de volumen de agua en disponibilidad natural (polígonos hidroclimáticos de Thiessen) (Mapa 20 ), según la fracción de área en m<sup>2</sup> que representa cada nuevo polígono, respecto a los polígonos originales y para cada una de las dos capas de origen, generando así una nueva base de datos que contiene las dos bases de datos originales.

Mapa 20: Zonificación municipal hidroclimática y de uso consuntivo de agua en la cuenca RAA.



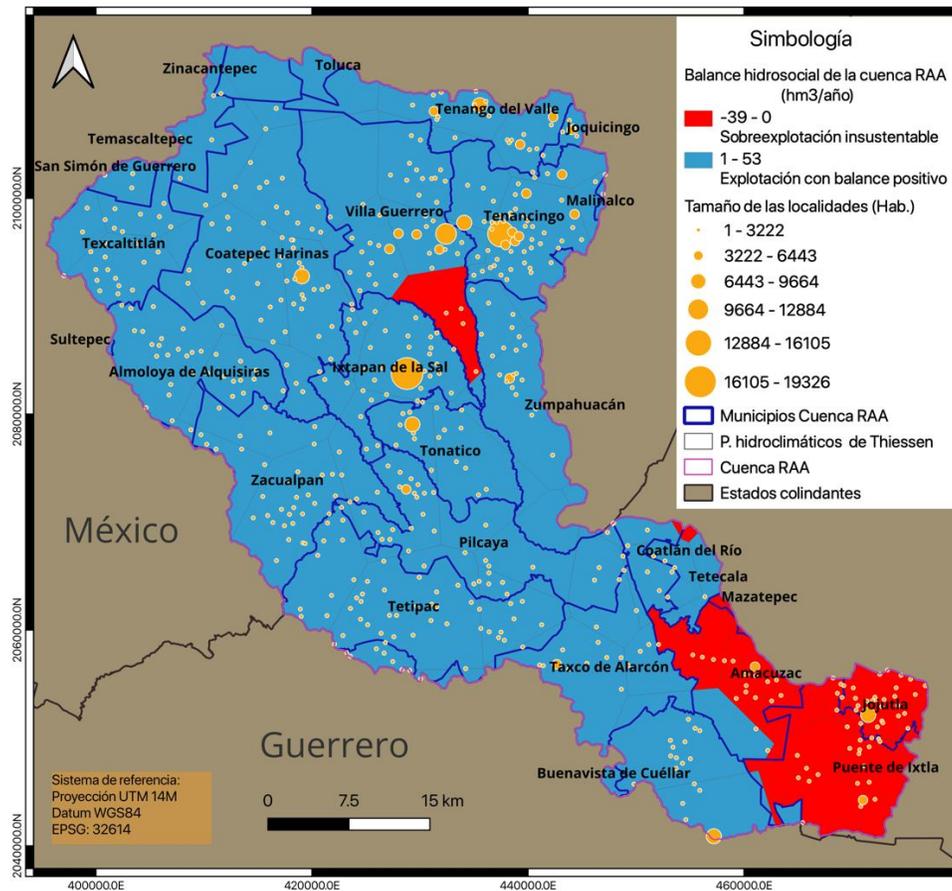
Fuente: elaboración propia, a partir de la intersección de las bases de datos REPDA y polígonos hidroclimáticos de Thiessen.

## 4.1. Resultados

### 4.2. Sustentabilidad y estrés hídrico de Falkenmark en la cuenca del río Alto Amacuzac.

Como ya hemos visto anteriormente, el equilibrio entre el medio ambiente y la actividad antrópica de cualquier zona o región se encuentran profundamente ligadas, el humano, pese a la razón que ostenta, es un elemento etológico del medio ambiente y no puede desprenderse de sus necesidades y relaciones con su entorno natural, es así como el análisis de los recursos hídricos en este estudio retoma el concepto de Vilchis et al. (2018) de cuenca hidrosocial, para perfilar el de ciclo hidrosocial. De tal manera que, la expresión de las características hidrológicas de una cuenca se mantenga íntimamente relacionados con la estructura social y demográfica del espacio geográfico compartido, en tal contexto, la distribución de los asentamientos humanos y las características hidrosociales en la cuenca brindan un panorama de la sostenibilidad del agua en la región (Mapa 21).

Mapa 21: Sustentabilidad hidrosocial y tamaño de las localidades de la cuenca RAA.



Fuente: elaboración propia, a partir de la intersección de las bases de datos REPDA y polígonos hidroclimáticos de Thiessen.

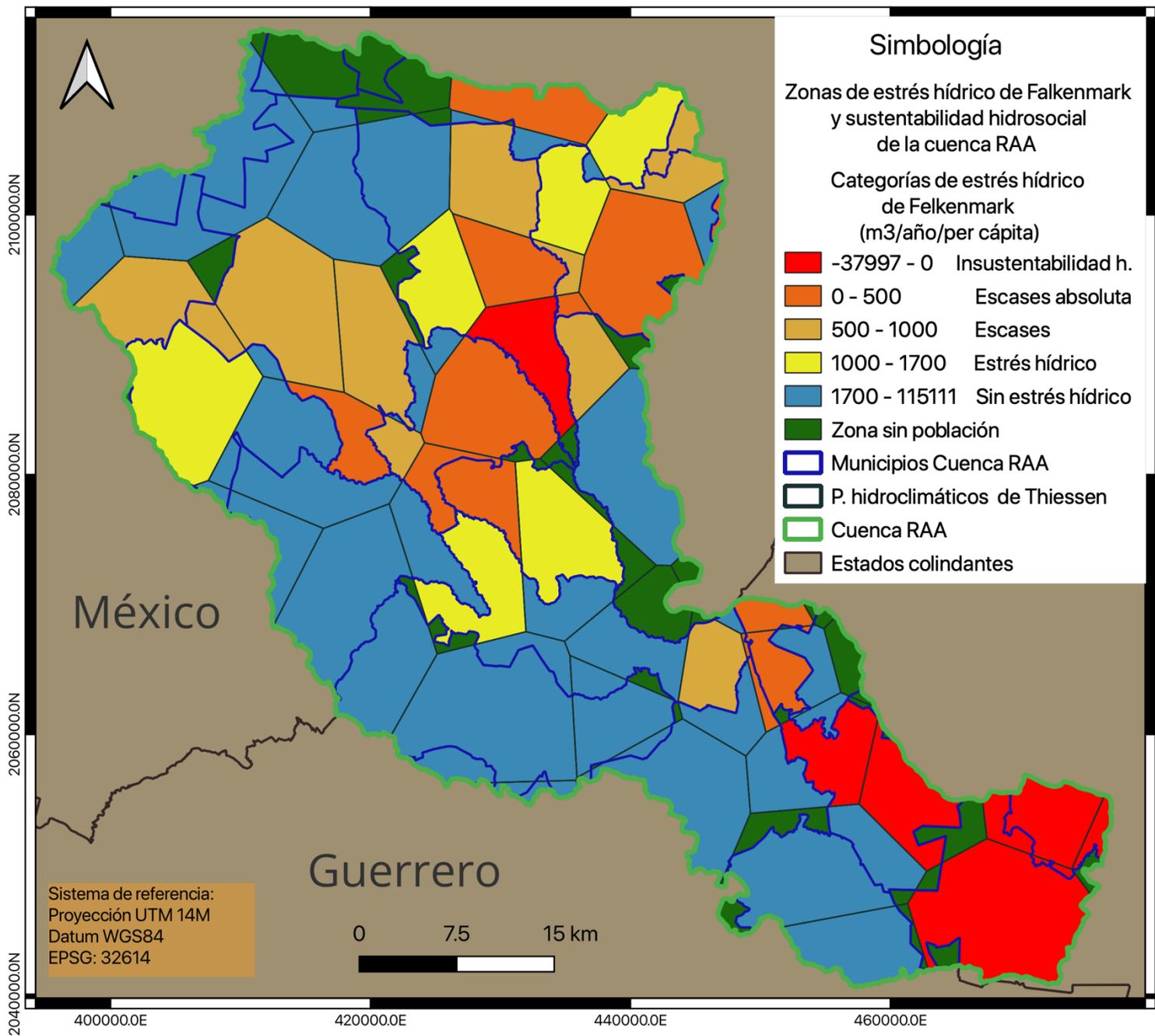
En la actualidad la coexistencia de la humanidad con su entorno ambiental y ecológico es un imperativo existencial, la perdurabilidad de los recursos naturales necesarios para el sostenimiento de la actividad antrópica a largo plazo, depende directamente de la planificación y gestión racional de estos, pues la dinámica de desarrollo económico y social en que las sociedades modernas fundaron su actuar cotidiano durante el último siglo y parte del presente, dejaron de lado los conceptos de sostenibilidad y sustentabilidad, necesarios para garantizar la salud humana y la cobertura de sus necesidades básicas y el aseguramiento de la salud ecosistémica del medio ambiente, generadora esta última de todos los servicios ambientales necesarios para la vida en sociedad.

Es así que en el presente trabajo se comenzó con la estimación de los recursos hídricos disponibles de manera natural en el área de estudio, para lo cual se recurrió a los datos históricos de las estaciones climatológicas locales y a la metodología de los polígonos de Thiessen, para estimar los volúmenes de disponibilidad media anual hídrica, considerando la precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial y la infiltración, para contar con datos realistas de la disponibilidad hídrica natural diferenciada según sus diferentes zonas hidroclimáticas, de la cuenca del río Alto Amacuzac.

Posteriormente, con el sentido de abordar las implicaciones antropogénicas en el ciclo hidrosocial en la cuenca de estudio, se procesó la base de datos de concesiones de agua para uso consuntivo del REPDA, con la cual se estimó el consumo antrópico de agua por unidad de superficie, con la finalidad de poder extrapolar dicho impacto a unidades de superficie hidroclimáticas y administrativas. Lo anterior en conjunto con el uso de información demográfica actualizada, derivada de censo de población y vivienda 2020 a nivel localidad, mediante el cual se logró correlacionar tanto los volúmenes de agua de uso consuntivo en sus diferentes categorías, así como los de disponibilidad hídrica media anual natural.

En conjunto, dichas etapas de análisis hidroclimático, de uso consuntivo de recursos hídricos y demográfico de la población residente de las 583 comunidades, en los 27 municipios, parte de los tres estados que componen la cuenca del río Alto Amacuzac, permitieron establecer la disponibilidad per cápita de agua en  $m^3$  por habitante anualmente, y asignando para los diferentes grupos de población por localidad un estatus dentro de las categorías de disponibilidad hídrica de Falkenmark (Mapa 22).

Mapa 22: Zonificación por categoría de estrés hídrico de Falkenmark y sustentabilidad hidrosocial en la cuenca RAA.



Fuente: elaboración propia, a partir de la intersección de las bases de datos REPDA, los polígonos hidroclimáticos de Thiessen calculados y el Censo de Población y Vivienda 2020 a nivel localidad.

Como se puede observar en el mapa anterior, mediante el análisis hidroclimático y de uso consuntivo de los recursos hídricos de la cuenca, se logró determinar zonas, con características diferenciadas, respecto a la condición hidrosocial que se desarrolla para cada una de las fracciones aisladas de la región. En particular respecto a dos conceptos fundamentales para para el análisis del presente estudio, en primer lugar, la sustentabilidad o insustentabilidad del ciclo hidrosocial del agua para cada sector de la cuenca, considerando para tal factor, el balance hídrico local para cada zona hidroclimática individual, de tal manera que el estatus de la condición hídrica local refleje de la manera más precisa disponible el proceso hidrosocial local.

Para la cuenca del río Alto Amacuzac se encontró que el 10.35% del territorio se encuentra en condición de insustentabilidad hidrosocial (zona en roja en el mapa anterior), lo que implica que la disponibilidad hídrica real, calculada a partir de descontar el UC concesionado por el REPDA a la disponibilidad media anual natural, resulta en un balance negativo de los recursos hídricos de las zonas identificadas en dicha categoría. Tal condición negativa del balance hidrosocial de esas zonas, implica que a pesar del otorgamiento de concesiones de agua asignada para el uso antrópico (agrícola, A. publico, industrial), la explotación local de los recursos hídricos para esas zonas es de facto insustentable.

Dicha condición de insustentabilidad es un factor determinante para garantizar a largo plazo el desarrollo de actividades humanas, pues como ya hemos mencionado anteriormente, la vida en sociedad se encuentra indisolublemente ligada a los recursos naturales y ecosistémicos de su medio ambiente, esto principalmente a través de servicios ambientales y los recursos naturales asociados estos. En dicho sentido, ese 10.35% del territorio de la cuenca de estudio en condición de insustentabilidad hidrosocial, requiere de acciones urgentes que permitan modificar su condición hidrosocial local (Anexo 2).

Dichas medidas urgentes, adquieren mayor relevancia cuando se considera que se estima que al menos 36,497 personas viven en alguna de las 75 localidades ubicadas dentro de las 8 zonas hidroclimáticas caracterizadas como de insustentabilidad hidrosocial, estas zonas se encuentran en alguno de los 4 municipios donde se concentró dicha condición, que para el caso de Morelos son los municipios Amacuzac, Jojutla y Puente de Ixtla, con una población afectada en condición de insustentabilidad de 13,495, 8,435 y 8,513 respectivamente.

Para el caso del Estado de México el único municipio dentro de la cuenca, con una zona en la categoría de insustentabilidad hidrosocial, es el municipio de Villa Guerrero en el cual se ubican 4 localidades con una población conjunta de 6,054 personas en tal condición hidrosocial. En conjunto las 75 localidades categorizadas en la condición de insustentabilidad hidrosocial representan el grupo de población con mayor vulnerabilidad a la precariedad hídrica, pues si bien en la actualidad la población de sus respectivos municipios recibe agua de UC concesionada para el abastecimiento público, esta y la asignada para el resto de categorías de UC del agua (Cuadro 8), en la actualidad son asignadas o explotadas en una condición de sobreexplotación hídrica, de carácter insustentable, lo que permite prever el posible agotamiento de las reservas, sobre todo de los mantos acuíferos de la región.

Cuadro 8: Balance hidrosocial por categoría de estrés hídrico de Falkenmark y sustentabilidad hidrosocial en la cuenca RAA.

Categoría	Total de localidades	Área en km2	Disponibilidad hídrica natural (hm3/año)	UC agrícola (hm3/año)	UC abastecimiento público (hm3/año)	UC industrial (hm3/año)	UC termoeléctricas (hm3/año)	UC Total (hm3/año)	Disponibilidad real de agua (hm3/año)	Disponibilidad real de agua (m3/año)	Población total	Acceso social al agua (m3/per cápita/año)
Sin estrés hídrico	40	1164.406	459.166178	59.564602	13.927757	0.338485	0	73.832334	385.333844	385333844	81861	15695.625
Estrés	6	293.211	99.582282	20.926599	5.922708	0.477631	0	27.326923	72.255359	72255359	60113	1188.833333
Escasez hídrica	11	348.138	113.398945	47.749566	5.74738	0.160751	0	53.657768	59.741177	59741177	80451	736.8181818
Escasez absoluta	13	324.279	96.06341	35.724618	10.53632	0.948293	0	47.208795	48.854615	48854615	184156	229.9230769
Insustentabilidad hídrica	8	270.377	27.718673	78.424558	5.499955	1.951093	0	85.875606	-58.156933	-58156933	36511	-6413.625
Zonas sin población registrada	49	209.796	95.504244	17.715054	6.50188	1.276743	0	25.492569	70.011675	70011675	Sin población	No aplica

Fuente: elaboración propia, a partir de la intersección de las bases de datos REPGA, los polígonos hidroclimáticos de Thiessen calculados y el Censo de Población y Vivienda 2020 a nivel localidad.

Cuadro 9: Número de localidades y población total por categoría de estrés hídrico de Falkenmark y sustentabilidad hidrosocial en la cuenca RAA

Categoría de Falkenmark	No. De localidades	Población total	Porcentaje de población total (%)	Porcentaje acumulado Población total(%)	Población femenina	Población masculina
Insustentabilidad hídrica	75	36497	7	7	18686	17737
Escasez absoluta	116	184156	35	42	94356	88967
Escasez hídrica	91	80451	15	57	41365	39086
Estrés hídrico	79	60113	11	69	30815	29278
Sin estrés hídrico	219	163665	31	100	84433	79072
<b>Totales (Hab. y porcentajes)</b>		<b>524882</b>	<b>100</b>			

Fuente: elaboración propia, a partir de la intersección de las bases de datos REPGA, los polígonos hidroclimáticos de Thiessen calculados y el Censo de Población y Vivienda 2020 a nivel localidad.

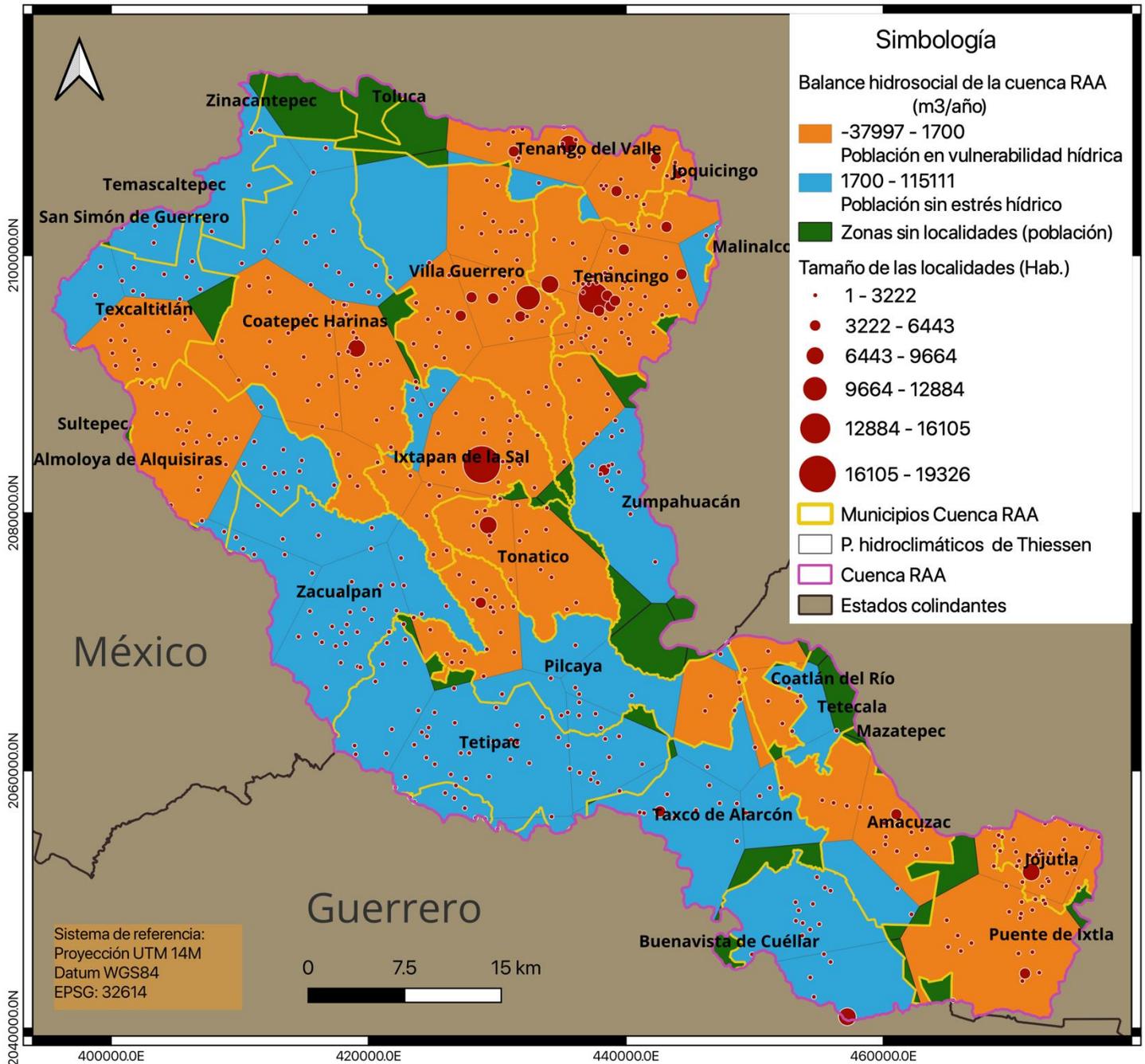
Además de la población en condición de insustentabilidad hidrosocial existe una amplia proporción de la población de la cuenca en algún grado de estrés o escasez hídrica, del Cuadro anterior (9) podemos observar que, el 69% de los habitantes de la cuenca se encuentra en una condición inadecuada respecto a sus recursos hídricos disponibles. Lo anterior considerando que la insustentabilidad, escasos o estrés hídrico (Mapa 23), son condiciones que limitan el libre desarrollo de los individuos, pues como ya hemos repasado anteriormente, la accesibilidad al agua es un factor transversal para la vida en sociedad.

En particular es importante destacar que, para la categoría de Escasez absoluta de recursos hídricos, la cual hace referencia a la población con una disponibilidad hidrosocial menor a los 500 (m<sup>3</sup>/per cápita/ año), se encontró una población que representa el 35% del total de la cuenca, lo que constituye el grupo poblacional de mayor tamaño concentrado en una categoría de estrés hídrico de Falkenmark, con aproximadamente 184,156 individuos.

Es importante remarcar que, las poblaciones en una condición de insustentabilidad, estrés o escasez de recursos hídricos, no necesariamente se encuentra en una condición de inaccesibilidad al agua, pues como ya se ha mencionado, todos los municipios que forman parte de la cuenca cuentan con un volumen de agua de UC concesionada para el abastecimiento público reportado en el REPDA, no obstante, el centro de análisis del presente estudio se encuentra en la detección de la disponibilidad hídrica desde un enfoque de balance de masas hidrosocial, con lo cual, se pretende caracterizar la cuenca más allá del acceso hídrico de UC por parte de la población local en un momento determinado, para alcanzar un nivel de entendimiento del ciclo hidrosocial de la cuenca con carácter de sostenibilidad y perspectiva de largo plazo.

Continuando con el mismo tren de ideas, el ya mencionado 69% de la población de la cuenca se encuentra en algún nivel de precariedad de accesibilidad hídrica, según las categorías de estrés hídrico de Falkenmark, lo que las coloca, según su posición particular en grados distintos de prioridad para la atención en la gestión de los recursos hídricos locales, de modo que la actividad antrópica social, económica y productiva, se adecue a planes de manejo regional que permitan ver a los recursos hidrosociales en su dimensión temporal, abordando estos como un servicio ambiental indispensable a largo plazo, para el sostenimiento de la vida en sociedad de la población dentro de la cuenca del río Alto Amacuzac.

Mapa 23: Zonificación por vulnerabilidad hídrica de la población\*, respecto a la disponibilidad per cápita (m<sup>3</sup>/año) y tamaño de las localidades de la cuenca RAA.

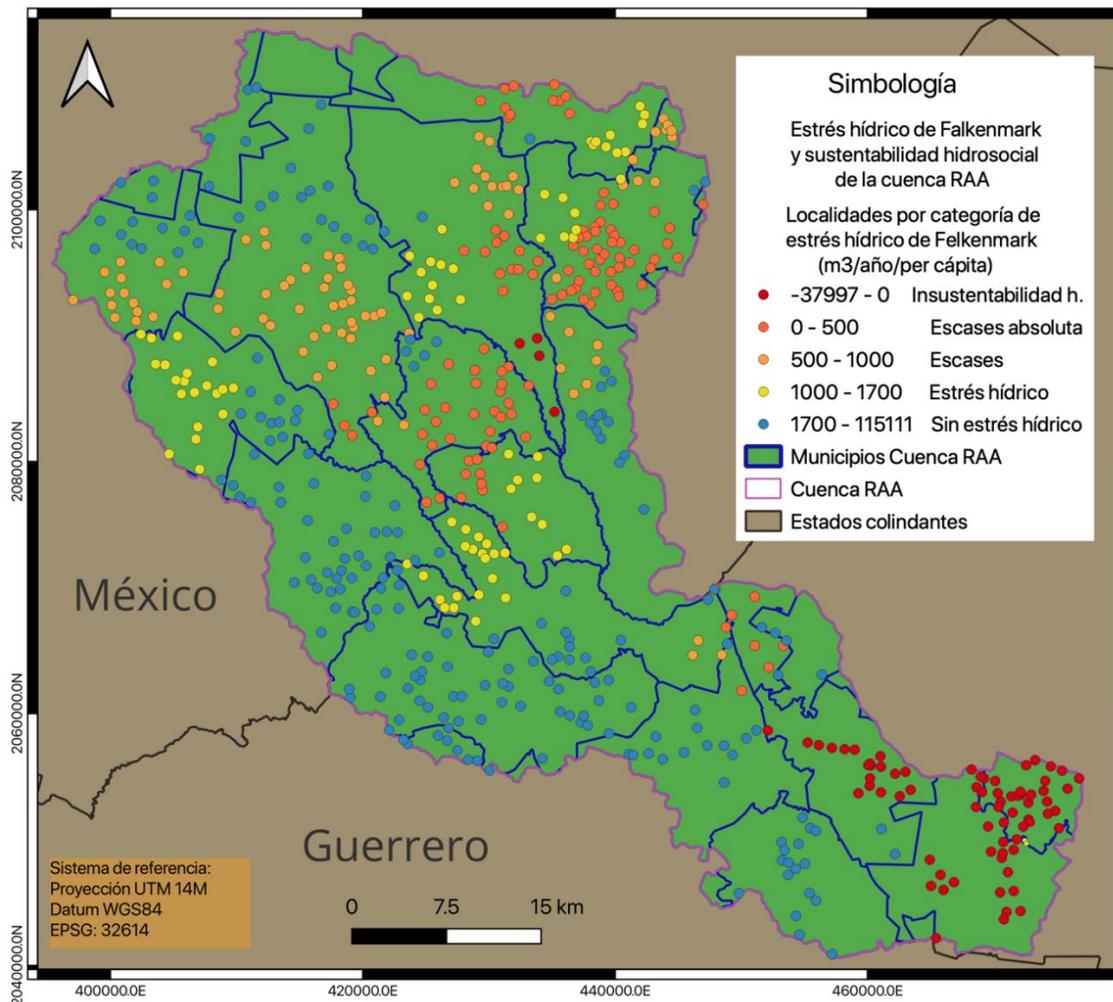


Fuente: elaboración propia, a partir de la intersección de las bases de datos REPDA, los polígonos hidroclimáticos de Thiessen calculados y el Censo de Población y Vivienda 2020 a nivel localidad.

\*La población en condición de vulnerabilidad hídrica alcanza un 69% con una población de 361,217 habitantes y la población que no se encuentra en vulnerabilidad hídrica apenas representa el 31% de la población total, con 163,665 habitantes, esto considerando la disponibilidad zonificada de la cuenca y la población local, para las categorías de Falkenmark.

Por último, es importante retomar el potencial y enfoque geoespacial del presente trabajo, pues el análisis del ciclo hidrosocial de la cuenca RAA, busca determinar la condición de disponibilidad hídrica para los múltiples grupos de población que habitan la región. Por lo que la descripción y socialización de la localización y distribución de las distintas localidades a lo largo de la cuenca, así como sus características hidroclimáticas (disponibilidad hídrica natural, UC de agua y demográficas), se centra particularmente en la condición de disponibilidad hidrosocial del agua para cada una de las localidades sobre todo las poblaciones que las habitan (Mapa 24), estableciendo dicha socialización de las poblaciones en condición de riesgo como uno de los principales resultados del presente estudio (Anexos 2-5).

Mapa 24: Localización por categoría de estrés hídrico de Falkenmark y sustentabilidad hidrosocial de las localidades ubicadas en la cuenca RAA.



Fuente: elaboración propia, a partir de la intersección de las bases de datos REPDA, los polígonos hidroclimáticos de Thiessen calculados y el Censo de Población y Vivienda 2020 a nivel localidad (Anexos 2-5).

## 5.1.Conclusiones

Las conclusiones de un estudio de este tipo representan una evaluación reflexiva de los hallazgos, en este caso, abordaremos las implicaciones de los resultados de este balance hídrosocial en la cuenca del río Alto Amacuzac, especialmente en relación con las zonas de mayor impacto de insustentabilidad, escasez o estrés hídrico, además de revisar la influencia del Corredor Florícola Mexiquense en dicho impacto en el ciclo hidrosocial de la región.

En primer lugar, este estudio ha destacado la vital importancia de un enfoque holístico en la gestión de los recursos hídricos. Al examinar la cuenca del río Alto Amacuzac en su totalidad, a través de su ciclo hídrosocial, se ha revelado una imagen más completa de las interacciones complejas entre los componentes naturales y antropogénicos del sistema hídrico. Se evidenció que un 10.35% de la cuenca está en una situación de insustentabilidad hídrica. La existencia de un balance negativo en estas áreas es una señal clara de la necesidad urgente de una gestión más sostenible y cuidadosa de los recursos hídricos.

Además, el análisis geoespacial llevado a cabo en este estudio ha proporcionado una perspectiva valiosa sobre las diferencias locales en el acceso y disponibilidad hídrica. Se ha podido determinar que las variaciones en el acceso y la disponibilidad no son uniformes en toda la cuenca. Por ejemplo, el 35% de la población total de la cuenca se encuentra en un estado de escasez absoluta de recursos hídricos sustentables. Las personas que viven en estas áreas de alto estrés hídrico están en mayor riesgo de sufrir las consecuencias de la insustentabilidad hídrica y, por lo tanto, deben ser consideradas una prioridad en las futuras estrategias de gestión del agua en la región.

Este trabajo también ha puesto de manifiesto el impacto del Corredor Florícola Mexiquense en la distribución y disponibilidad hídricas en la región. A través del análisis de la cuenca, se ha evidenciado que las demandas de agua para usos agrícolas, industriales y de abastecimiento público, aunque son esenciales para la vida y la economía locales, están ejerciendo presión sobre el equilibrio hídrico de la cuenca. Por tanto, es imperativo que las estrategias de gestión del agua consideren el balance entre la necesidad de agua para el desarrollo económico y la preservación de los recursos hídricos para las generaciones futuras.

En particular es importante mencionar que algunas de las zonas detectadas en condición de insustentabilidad hidrosocial se corresponden con el análisis espacial del uso consuntivo de agua para la agricultura, en particular con el alto consumo de los municipios de Coatepec, Villa Guerrero y Tenancingo en el Estado de México y Amacuzac, Jojutla y Puente de Ixtla en Morelos, mismo que representan en conjunto el 78.09% del consumo de agua para la agricultura dentro de la cuenca, siendo que el área de estos municipios, tan solo suma el 36,0% de la superficie del territorio de la cuenca lo que demuestra la elevada actividad agrícola en dichos municipios y por lo tanto en el caso del Estado de México su elevada influencia en el ciclo hidrosocial (Anexo ).

Por otro lado, la valoración del acceso social al agua ha proporcionado un contexto humano crucial a los datos hidrológicos. Al comprender que el 44.61% del territorio estudiado no sufre de estrés hídrico, pero solo el 18.47% de la población disfruta de este estado, es evidente que la distribución equitativa del agua es un desafío significativo. La disparidad en el acceso al agua indica la necesidad de políticas y prácticas que no solo aumenten la disponibilidad de agua, sino que también aseguren que este recurso vital se distribuya de manera más justa y equitativa.

Es así como, a través del análisis de las categorías de Falkenmark, se destaca la gravedad de la escasez hídrica y la insustentabilidad en algunas localidades de la cuenca. En particular, la categoría de "insustentabilidad hídrica" que afecta al 7% de la población total, mientras que la "escasez absoluta" afecta a una parte aún mayor, el 35%. Estos resultados son una llamada a la acción para los tomadores de decisiones y las autoridades encargadas de la gestión del agua para que prioricen las intervenciones en estas áreas.

Este estudio también ha evidenciado la importancia de tener en cuenta el género en los estudios hidrosociales. La diferenciación de la población por género en cada categoría de estrés hídrico proporciona una visión más detallada de quién se ve afectado y cómo. Esta es una consideración esencial para el desarrollo de políticas y estrategias de gestión del agua que sean verdaderamente inclusivas y equitativas.

Además de lo anterior, este informe sirve como un recordatorio del vínculo inextricable entre el agua y la vida humana. Cada una de las conclusiones arrojadas por este análisis refuerza la necesidad de proteger y preservar nuestros recursos hídricos, tanto para la salud de nuestro medio ambiente como para el bienestar de nuestras comunidades. Este enfoque holístico, que une el conocimiento técnico y social, nos permite entender de manera más completa la urgencia de solucionar estos problemas y trabajar hacia una gestión más sostenible y justa del agua.

Por ejemplo, la relación entre la disponibilidad hídrica y el desarrollo socioeconómico, especialmente en la región de la cuenca del río Alto Amacuzac y el Corredor Florícola Mexiquense, es una interacción compleja y multifacética. La gestión del agua debe considerar no solo la cantidad de agua disponible, sino también cómo se utiliza y distribuye. Este estudio resalta la necesidad de avanzar hacia un enfoque de gestión hídrica más integrado y equitativo, que priorice el acceso al agua como un derecho humano fundamental, y no solo como un recurso para ser explotado.

Además, el impacto del Corredor Florícola Mexiquense en la distribución y disponibilidad hídrica enfatiza la importancia de la gestión sostenible de los recursos y la planificación del uso del suelo. Se requieren medidas a nivel regional y municipal para mitigar los impactos negativos y promover un desarrollo económico que sea sostenible desde el punto de vista ambiental y beneficioso para todas las comunidades locales.

Los hallazgos de este estudio deberían usarse para formar políticas y estrategias de gestión del agua a nivel local, regional y nacional. La información presentada en este informe debería alentar a los tomadores de decisiones a revisar y mejorar las prácticas actuales de gestión del agua. En última instancia, este análisis hídrosocial ha revelado que los problemas de estrés y escasez hídrica no pueden resolverse únicamente a través de intervenciones técnicas o incrementando la oferta de agua mediante trasvases. Se necesita un enfoque más holístico y socialmente consciente, que tenga en cuenta la dimensión humana de la gestión del agua. El desafío es grande, pero la necesidad de actuar es aún mayor, para garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras.

Finalmente, dentro del marco de este estudio que busca comprender la dinámica hidrosocial de la cuenca del río Alto Amacuzac, invito a los lectores a explorar la propuesta metodológica construida a lo largo de este trabajo. Esta metodología nos permitió concentrar múltiples fuentes de datos, tanto espaciales como registrales, y los procedimientos de análisis espacial y manejo de bases de datos para establecer y construir información espacial relevante y comparable para una misma demarcación geográfica, tomando en cuenta variables hidroclimáticas, demográficas y de administración pública.

En este documento, además de describir el escenario hídrosocial de la región de estudio, se busca compartir las fuentes de datos disponibles en el campo, tales como repositorios de estaciones climáticas, registros administrativos de UC de aguas superficiales y subterráneas, entre otras. También se destacaron los procesos de análisis espacial útiles para la adecuación de la información y el enfoque de homologación necesario para la comparabilidad de la información utilizada. Con esto, se logró generar resultados descriptivos del área de estudio, pero, sobre todo, resultados extrapolables a diferentes áreas de México que puedan encontrarse en condiciones hidrosociales complicadas o con problemáticas intensas respecto a sus recursos hídricos.

Sin embargo, es importante reconocer que la metodología aquí utilizada presenta limitaciones y áreas de mejora significativas, ya que el enfoque fue ajustado a la disponibilidad de información para el área de estudio. Por lo tanto, para futuros enfoques en el análisis espacial de los ciclos hidrosociales de un área de interés, se sugiere considerar recursos como los satélites Aqua y Terra, que cuentan con el instrumento MODIS (NASA, 2023). Con él, sería posible calcular la precipitación media anual para el área de estudio a través de imágenes satelitales, permitiendo describir el comportamiento hidroclimático de la cuenca de manera continua. Esto se sugiere ya que el enfoque discreto para este factor de análisis, mediante los polígonos de Thiessen, representa una de las principales áreas de mejora de este trabajo.

A pesar de todo, la propuesta ofrecida para el análisis espacial hidrosocial de la cuenca del río Alto Amacuzac, representa un importante acercamiento al estudio del contexto de interacción entre los elementos climáticos, demográficos y administrativos. Esto arroja el potencial de coadyuvar a la toma de decisiones y gestión de los recursos hídricos locales, mediante un conocimiento científico sólido y verificable.

## 6.1. Bibliografía

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9). Recuperado de <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2010). Resolución 64/292: El derecho humano al agua y el saneamiento. A/RES/64/292. Recuperado de <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N09/479/38/PDF/N0947938.pdf?OpenElement>
- Blanco, de la Torre, Félix. (2017). Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución. ISSN: 1900-5016. Disponible en: [https://www.ieee.es/Galerias/fichero/cuadernos/CE-186\\_Agua.pdf](https://www.ieee.es/Galerias/fichero/cuadernos/CE-186_Agua.pdf)
- Briseño Ramírez, Hugo, & Estefani Monárrez, Guillermo (2019). El bienestar subjetivo explicado desde el acceso al agua potable y al empleo. Cuadernos Latinoamericanos de Administración, XV (29). ISSN: 1900-5016. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=409661113003>
- Chamba-Ontaneda, M., Massa-Sánchez, P., & Fries, A. (2019). Presión demográfica sobre el agua: un análisis regional para Ecuador. Revista Geográfica Venezolana, 60(2), 360-377. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347766130008>
- Chow, V T., Maidment, D., Mays, L. (1988). Applied Hydrology. McGraw -Hill. Recuperado de [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-30231-5\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-30231-5_5)
- COLMEX. (2020). Balance hídrico de la cuenca Amacuzac. Recuperado de <https://docplayer.es/211893091-Balance-hidrico-de-la-cuenca-amacuzac.html>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2022). División política municipal, 1:250000. Catálogo de metadatos geográficos. Autor: INEGI, (00/12/2022). Recuperado el 6 de enero de 2023, de [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/dipol/mupal/mun22gw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/dipol/mupal/mun22gw)
- CONABIO. (2008). Catálogo de metadatos geográficos. Consultado en. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/hidro/chidro/rha250kg](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/hidro/chidro/rha250kg)
- CONACyT. (2020). ACTIVIDADES DEL PRONACES AGUA, COMITÉ EJECUTIVO DEL PRONACES AGUA. Recuperado de <https://conacyt.mx/actividades-del-pronaces-agua/>
- CONAGUA, SMN. (2010). Manual de usuario: Estaciones climatológicas en Google Earth. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- CONAGUA, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. (2021). Límites de los Acuíferos de la República Mexicana [Datos geoespaciales en formato vectorial]. México, D.F.: CONAGUA. Recuperado de [https://sigagis.conagua.gob.mx/ArcGIS/rest/services/DMA\\_17SEP20/www/MapServer/](https://sigagis.conagua.gob.mx/ArcGIS/rest/services/DMA_17SEP20/www/MapServer/)

- CONAGUA. (2008). Estadísticas del Agua en México 2008. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. ISBN 978-968-817-895-9. Recuperado de [https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM\\_2008.pdf](https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM_2008.pdf)
- CONAGUA. (2010). Agua: Atlas del Agua 2010. Consultado en: [http://gisviewer.semarnat.gob.mx/geointegrador/enlace/atlas2010/atlas\\_agua.pdf](http://gisviewer.semarnat.gob.mx/geointegrador/enlace/atlas2010/atlas_agua.pdf)
- CONAGUA. (2010). Estadísticas del agua en México. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/eam2010-16junio2010.pdf>
- CONAGUA. (2010a). Agua: Atlas del Agua 2010. Consultado en: [http://gisviewer.semarnat.gob.mx/geointegrador/enlace/atlas2010/atlas\\_agua.pdf](http://gisviewer.semarnat.gob.mx/geointegrador/enlace/atlas2010/atlas_agua.pdf)
- CONAGUA. (2010b). Estadísticas del agua en México. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/eam2010-16junio2010.pdf>
- CONAGUA. (2018). Estadísticas del agua en México. Disponible en: [https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf)
- CONAGUA. (2023). Inicio Consulta a la base de datos del REPDA. Recuperado de <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>
- CONAGUA. REPDA (2021). Intensidad\_usos\_consuntivos\_municipio\_2021 [Base de datos geográfica]. Ciudad de México, México: CONAGUA. Recuperado de <https://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua>
- Cruz García, M. H. (2015). Estimación regional de coeficientes de escurrimiento: Aplicación a la región hidrológica No 18 (Tesis de maestría en Ingeniería). Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/8353/1/Estimaci%C3%B3n%20Regional%20de%20Coeficientes%20de%20Esgurrimiento.pdf>
- Giai, S., B. (2008). Introducción a la hidrología. Recuperado de <http://www.unlpam.edu.ar/images/extension/edunlpam/QuedateEnCasa/introduccion-a-la-hidrologia.pdf>
- Gil Antonio, M. D. L. Á., Reyes Hernández, H., Márquez Mireles, L. E., & Cardona Benavides, A. (2014). Disponibilidad y uso eficiente de agua en zonas rurales. Investigación y Ciencia, 22(63), 67-73. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67435407008>
- Gómez, R., E. (2013). Valoración de los componentes del balance hídrico usando información estadística y geográfica: la cuenca del Valle de México. Recuperado de [https://rde.inegi.org.mx/RDE\\_10/Doctos/RDE\\_10\\_Art1.pdf](https://rde.inegi.org.mx/RDE_10/Doctos/RDE_10_Art1.pdf)
- Hernández-Guerrero, Juan, y García-Estrada, Lorena (2020). Ciclo hidrosocial y acceso al agua en la periferia de la ciudad de Morelia, México: Estudio de caso en La Aldea. Revista Geográfica de América Central, 1(64), 269-297. ISSN: 1011-484X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451762295010>

- Humphreys, W. J. (1909). Vertical Temperature-Gradients of the Atmosphere, Especially in the Region of Upper Inversion. *Astrophysical Journal*, 29, 14. Recuperado de <https://adsabs.harvard.edu/full/1909ApJ....29...14H>
- INEGI. (2010). Red hidrográfica escala 1:50,000. Edición 2.0 Recuperada de <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/#Descargas>
- INEGI. (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM). Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- INEGI. (2016). Actualización de Marco Censal Agropecuario 2016. Consultado en: <https://www.inegi.org.mx/programas/amca/2016/#Tabulados>.
- INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- LAN, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2023). Ley de Aguas Nacionales. Secretaría de Servicios Parlamentarios. Recuperado de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>
- María, S. P. (2017). El largo camino del agua. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 43(2),113-117. [fecha de Consulta 17 de Mayo de 2022]. ISSN: 0325-8718. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86452401005>
- NASA "Earthdata". (2023). Terra & Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Retrieved from <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/order/1/MODIS:Aqua>
- ONU (2015). Objetivos de Desarrollo del Milenio: Informe de 2015, Resumen ejecutivo. Nueva York. Recuperado de [https://www.cepal.org/sites/default/files/pr/files/mdg\\_2015\\_s\\_summary\\_web\\_0.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/pr/files/mdg_2015_s_summary_web_0.pdf)
- Ordoñez, G., J. J. (2011). Cartilla Técnica: Balance hídrico superficial. Recuperado de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/balance\\_hidrico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf)
- Ortega-García, Loreilys, & Rodríguez-Hernández, Pedro, & Hernández-Baranda, Yenisei, & Meriño-Hernández, Yanitza, & Peña-Icart, Mirella, & Pérez-Pérez, Reneé (2021). Caracterización química y agronómica del agua del río Tapaste, ubicado en el nacimiento de la Cuenca Almendares-Vento. *Cultivos Tropicales*, 42(3). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193268883001>
- Pérez-Díaz, José Pedro, & Mancilla-Villa, Oscar Raúl, & Sánchez-Bernal, Edgar Iván, & Canculim, Alvaro, & Ortega-Escobar, Héctor Manuel, & Flores-Magdaleno, Héctor, & Ramírez-Ayala, Carlos (2019). Concentración de nitrato, fosfato, boro y cloruro en el agua del río Lerma. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16),175-185. [fecha de Consulta 17 de Mayo de 2022]. ISSN: 2007-9028. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358662588019>
- QGIS. (2021). QGIS (3.28.6-Firenze) [Software]. Versión 3.28.6-Firenze. Recuperado de <https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>

- Ramírez, H. J. J. (2018a). Corredor florícola Mexiquense: de la expectativa de desarrollo a la vulnerabilidad social y productiva. Vol. III. Desigualdades, pobreza, economía informal, precariedad laboral y desarrollo económico. COMECSO. Consultado en: [https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/99330/2018%20COMECSO%20volumen%203\\_pp1065-1078.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/99330/2018%20COMECSO%20volumen%203_pp1065-1078.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Ramírez, H. J. J., Avitia, R. J. A. (2018b). Condiciones de producción en la floricultura del Estado de México: ¿hacia la competitividad y la sustentabilidad? Consultado en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/99335/articulo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ramos, F. (2022). Continúa disputa por el agua del río Zictepec; bloquean Avenida Tecnológico en Metepec. El Sol de Toluca. Consultado en: <https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/continua-disputa-por-el-agua-del-rio-zictepec-vecinos-de-tenango-y-calimaya-bloquean-avenida-tecnologico-en-metepec-7992639.html>.
- ríos, M., J. et al. (2019). Estimación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del lago de Zirahuén. Tecnología y ciencias del agua. IMTA. Recuperado de <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/2039/1608>
- Sánchez, S.-R., F. J. (2022). Hidrología superficial y subterránea. Universidad de Salamanca. Recuperado de <https://hidrologia.usal.es>
- Semarnat - Disponibilidad del agua. (2002). En Compendio de Estadísticas Ambientales 2002. Recuperado de [https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/04\\_Agua/4.4\\_Disponibilidad/index.htm](https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.4_Disponibilidad/index.htm)
- SIGAGUA, Coordinación General de Recaudación y Fiscalización. (2023). Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas (SIGACUA). Recuperado de <https://sigagis.conagua.gob.mx/aprovechamientos/>
- Simón, R., I. Aravena, R., B. (2020). EL CICLO HIDROSOCIAL: Una propuesta didáctica desde la historia, la geografía, las ciencias sociales y la educación para la ciudadanía. Universidad Autónoma de Chile. Recuperado de [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2020/06/EL-CICLO-HIDROSOCIAL-FINAL-DIGITAL\\_JUNIO.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2020/06/EL-CICLO-HIDROSOCIAL-FINAL-DIGITAL_JUNIO.pdf)
- SINA, Comisión Nacional del Agua. (2020). Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Recuperado de <https://app.conagua.gob.mx/sistemasdeagua/>
- Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). (2021). Módulo de metadatos geográficos. Recuperado de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=mapa&o=1&n=acional>
- Sophocleous, M. (1992). Groundwater recharge estimation and regionalization: the Great Bend Prairie of central Kansas and its recharge statistics. Journal of Hydrology, 137(1-4), 113-140. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90051-V](https://doi.org/10.1016/0022-1694(92)90051-V)

- Vazquez, Sanchez, Martin, y Mendez, Ramirez, Jose juan, y Garcia, Fajardo, Belinda. (2018). Umbrales del agua frente a la escasez con base a la resiliencia urbana en Lerma y San Mateo Atenco, Estado de México. ISSN: 2007-9028. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/80141>
- Veto. (2023) La importancia de la Evapotranspiración en la agricultura. (s/f). Recuperado de <https://blog.veto.cl/2020/10/31/la-importancia-de-la-evapotranspiracion-en-la-agricultura/>
- Vilchis, M. I., Garrocho, G., C. F., Díaz, D., C. (2018). Modelo dinámico adaptativo para la toma de decisiones sostenibles en el ciclo hidrosocial urbano en México. Revista de geografía Norte Grande, 71: 59-90.
- Wittfogel, K. A. (1957). Oriental Despotism: A Comparative Study of Total Power. Creative Commons License. Recuperado de <https://archive.org/details/KarlAugustWittfogel-OrientalDespotism>
- WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). 2009. Water in a changing world. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374903\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374903_spa)

## 7.1.Anexos

Anexo 1: Uso consuntivo (UC) de agua por categoría de uso, totales y porcentajes para los municipios de la cuenca RAA.

Nombre del Municipio	Estado	Área en km2	UC agrícola (hm3/año)	UC		UC industrial (hm3/año)	UC		UC global (hm3/año)	Porcentaje del territorio (m2)	Percent UC Agri	Percent UC AbPub	Percent UC Indust	Total UC Con ce
				abastecimiento público (hm3/año)	UC doméstico (hm3/año)		UC termoelectr. cas (hm3/año)	UC global (hm3/año)						
Coatepec Harinas	México	289057900.7	57.819	2.338	0.013	0	0	60.169	11.07413644	22.22909979	4.85707163	0.252280225	19.19915506	
Puente de Ixtla	Moreros	132731529.3	55.679	2.212	0.475	0	0	58.366	5.085095624	21.40635513	4.595313279	9.217931302	18.62384092	
Villa Guerrero	México	225946210.5	43.908	4.783	0.365	0	0	49.056	8.65625592	16.88087503	9.936430115	7.083252474	15.6531395	
Tenancingo	México	146333880.8	18.283	8.096	0.036	0	0	26.415	5.606217157	7.029084408	16.8190128	0.698622162	8.428687212	
Amacuzac	Moreros	105266215.1	15.162	1.39	0.004	0	0	16.556	4.032868247	5.829184368	2.887651654	0.077624685	5.282806946	
Joluitla	Moreros	41492007.47	12.266	1.779	1.48	0	0	15.525	1.589605927	4.715787855	3.695778627	28.72113332	4.953828089	
Ixtapan de la Sal	México	115045026.3	9.961	4.653	0.687	0	0	15.301	4.40750561	3.829607274	9.666361974	13.33203959	4.882352566	
Tonatico	México	90089480.97	7.874	2.181	0.631	0	0	10.686	3.451430326	3.027239	4.530912415	12.245294	3.409765343	
Pilcaya	Guerrero	162093339.5	6.359	1.349	0	0	0	7.709	6.20997992	2.444781915	2.802476317	0	2.459842881	
Zumpahuacán	México	136334303.2	5.643	1.425	0.003	0	0	7.071	5.223121984	2.169508468	2.960362307	0.058218513	2.256265276	
Tetipac	Guerrero	207897655.4	4.178	1.392	0	0	0	5.57	7.964795276	1.606274389	2.891806548	0	1.777315456	
Texcaltitlán	México	105749828.2	3.396	1.331	0	0	0	4.728	4.051396014	1.305626574	2.765082267	0	1.508644071	
Coatlán del Río	Moreros	31391966.29	3.351	0.359	0.16	0	0	3.87	1.202661879	1.288325868	0.745803557	3.104987386	1.234867292	
Tetecala	Moreros	35699624.62	3.343	0.25	0.003	0	0	3.596	1.367693162	1.285250187	0.519361808	0.058218513	1.147437411	
Temascaltepec	México	56019289.03	2.975	1.304	0.019	0	0	4.299	2.146162581	1.143768863	2.708991192	0.368717252	1.371755681	
Almoloya de Alquisirás	México	131565237.8	2.17	1.224	0	0	0	3.394	5.040413671	0.834278464	2.542795413	0	1.082981806	
Zacualpan	México	172888339.4	2.068	0.849	0.008	0	0	2.925	6.623548624	0.795063532	1.763752701	0.155249369	0.93332993	
Tenango del Valle	México	103096792.7	1.632	2.03	0.034	0	0	3.695	3.949755211	0.627438919	4.217217883	0.65980982	1.179027039	
Taxco de Alarcón	Guerrero	146025948.5	1.328	3.814	0.094	0	0	5.236	5.594419922	0.510563042	7.923383746	1.824180089	1.670740346	
Mallinalco	México	3430196.636	0.705	0.062	0.001	0	0	0.768	0.131414729	0.271044386	0.128801728	0.019406171	0.245058935	
Buenavista de Cuéllar	Guerrero	11377999.1	0.641	0.706	0	0	0	1.347	4.359040669	0.246438938	1.466677746	0	0.425810398	
Zinacantan	México	30918511.31	0.527	0.814	0.275	0	0	1.616	1.184523281	0.202610484	1.691042048	5.33669707	0.515644843	
Mazatepec	Moreros	2206881.515	0.517	0.034	0.002	0	0	0.552	0.084548137	0.198765883	0.070633206	0.038812342	0.17613611	
Toluca	México	13657624.72	0.32	3.192	0.863	0	0	4.375	0.529239113	0.123027239	6.631215167	16.74752571	1.396006305	
Sultepec	México	937068.985	0	0.005	0	0	0	0.005	0.035900177	0	0.010387236	0	0.001595436	
San Simón de Guerrero	México	294363.613	0	0.002	0	0	0	0.002	0.011277404	0	0.0004154894	0	0.000638174	
Jocuilingo	México	10257931.18	0	0.562	0	0	0	0.562	0.392992993	0	1.167525345	0	0.179326981	
<b>Total</b>		<b>2610207145</b>	<b>260.105</b>	<b>48.136</b>	<b>5.153</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>313.394</b>						

Fuente: elaboración propia, a partir de reportes anuales de concesiones de agua del REPDA.

Anexo 2: Localidades de la cuenca RAA en categoría de Insustentabilidad hídrica.

No.	ENTIDAD	NOM_ENT	MUN	NOM_MUN	LOC	NOM_LOC	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	POBTOT	POBFEM	POBMAS
1	15	México	113	Villa Guerrero	6	La Finca	99°38'29.687" W	18°53'43.448" N	1884	1977	1033	944
2	15	México	113	Villa Guerrero	15	Potrero Nuevo	99°37'42.633" W	18°53'56.795" N	1865	1006	507	499
3	15	México	113	Villa Guerrero	16	El Progreso Hidalgo	99°36'54.847" W	18°50'47.453" N	1711	1004	501	503
4	15	México	113	Villa Guerrero	33	Ejido de la Finca	99°37'36.459" W	18°53'11.960" N	1835	2067	1028	1039
5	17	Morelos	12	Jojutla	2	Chisco	99°14'07.094" W	18°32'54.835" N	850	516	250	266
6	17	Morelos	12	Jojutla	27	Arenales (Colonia Loma)	99°15'29.500" W	18°33'17.142" N	881	7	0	0
7	17	Morelos	12	Jojutla	83	Avícola Fresco Pollo	99°15'26.140" W	18°33'11.341" N	881	8	4	4
8	17	Morelos	12	Jojutla	117	Colonia los Naranjos	99°15'43.570" W	18°32'58.958" N	880	5	0	0
9	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	6	La Tigra	99°19'56.188" W	18°31'32.771" N	1004	379	190	189
10	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	7	Tilzapotla	99°16'28.580" W	18°29'18.425" N	1010	4932	2543	2389
11	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	10	El Zapote	99°19'38.884" W	18°28'10.498" N	1801	94	43	51
12	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	12	Los Ídolos	99°17'10.628" W	18°31'54.234" N	919	233	111	122
13	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	17	Los Tanques	99°18'50.733" W	18°30'35.063" N	1027	10	5	5
14	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	28	Los Papayos	99°16'25.098" W	18°31'00.989" N	902	15	8	7
15	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	30	Portesuelo	99°16'46.061" W	18°30'08.925" N	983	23	9	14
16	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	32	Rancho Panchomas	99°16'41.552" W	18°31'38.135" N	880	76	36	40
17	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	33	San Antonio	99°16'39.168" W	18°31'49.985" N	867	17	13	4
18	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	50	Campo Amor	99°19'52.701" W	18°30'25.266" N	990	2	0	0
19	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	57	El Rodeo	99°16'09.412" W	18°31'58.809" N	881	20	9	11
20	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	77	Las Albóndigas	99°19'27.146" W	18°30'53.987" N	961	2	0	0
21	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	80	Campo Agua Salada	99°17'18.743" W	18°32'59.192" N	896	5	0	0
22	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	85	Colonia los Pinos	99°16'01.294" W	18°32'25.928" N	877	24	12	12
23	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	87	Colonia San Pedro	99°16'37.794" W	18°32'19.046" N	921	375	193	182
24	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	98	El Polvorín	99°15'50.797" W	18°29'20.637" N	1037	16	7	9
25	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	102	Rancho los Ílamos	99°16'09.160" W	18°30'12.474" N	1042	2	0	0
26	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	115	El Mirador	99°19'18.737" W	18°30'14.879" N	995	7	0	0
27	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	124	El Paso del Guayabo	99°16'36.004" W	18°33'09.400" N	848	7	0	0
28	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	136	Colonia Emiliano Zapata	99°16'35.774" W	18°28'59.344" N	1050	33	15	18
29	17	Morelos	12	Jojutla	11	Tehuixtla	99°16'12.514" W	18°33'34.984" N	882	6500	3335	3165
30	17	Morelos	12	Jojutla	23	La Peña	99°16'44.653" W	18°34'03.115" N	903	41	22	19
31	17	Morelos	12	Jojutla	66	La Azuchilera	99°16'16.320" W	18°34'16.913" N	900	145	73	72
32	17	Morelos	12	Jojutla	76	La Catalana	99°17'29.737" W	18°35'03.329" N	933	22	10	12
33	17	Morelos	12	Jojutla	78	Colonia la Azuchilera	99°15'49.080" W	18°34'21.352" N	921	53	25	28
34	17	Morelos	12	Jojutla	79	Colonia Guadalupe	99°17'35.203" W	18°34'27.995" N	875	74	38	36
35	17	Morelos	12	Jojutla	80	Los Estanques	99°16'52.782" W	18°34'25.407" N	900	4	0	0
36	17	Morelos	12	Jojutla	85	Los Guayabitos	99°15'58.973" W	18°34'18.565" N	903	7	0	0
37	17	Morelos	12	Jojutla	90	Brasilera Chica	99°16'59.837" W	18°34'56.534" N	946	127	63	64
38	17	Morelos	12	Jojutla	100	La Joya (Ojo de Agua)	99°16'50.713" W	18°33'49.625" N	842	19	7	12
39	17	Morelos	12	Jojutla	119	La Mesa de los Indios	99°15'51.570" W	18°34'28.890" N	936	29	13	16
40	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	5	El Estudiante	99°17'50.068" W	18°34'40.293" N	860	1779	899	880
41	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	15	Pineda	99°18'03.775" W	18°35'26.103" N	886	46	24	22
42	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	25	Loma Florida	99°17'39.133" W	18°35'07.796" N	921	414	227	187
43	17	Morelos	17	Puente de Ixtla	94	El Iztacoáquetl	99°17'51.702" W	18°33'49.506" N	847	2	0	0
44	17	Morelos	1	Amacuzac	1	Amacuzac	99°22'10.251" W	18°36'00.006" N	900	5575	2925	2650
45	17	Morelos	1	Amacuzac	2	Cajones	99°20'48.128" W	18°34'33.424" N	894	553	275	278
46	17	Morelos	1	Amacuzac	3	Casahuatlán	99°23'09.536" W	18°34'24.213" N	949	1915	993	922
47	17	Morelos	1	Amacuzac	4	Coahuixtla	99°22'08.736" W	18°34'26.698" N	914	1151	592	559
48	17	Morelos	1	Amacuzac	6	Miahuatlán (El Cuiji)	99°21'02.489" W	18°35'19.936" N	887	561	272	289
49	17	Morelos	1	Amacuzac	12	Campo Nuevo	99°21'17.676" W	18°34'16.677" N	893	41	22	19
50	17	Morelos	1	Amacuzac	16	Colonia el Campamento	99°22'35.955" W	18°35'36.323" N	925	197	115	82
51	17	Morelos	1	Amacuzac	26	Colonia Oriental	99°22'39.206" W	18°34'43.702" N	942	194	99	95
52	17	Morelos	1	Amacuzac	37	El Campamento	99°22'38.450" W	18°35'40.816" N	930	86	51	35
53	17	Morelos	1	Amacuzac	41	Villa Verde	99°22'42.864" W	18°35'37.245" N	925	65	34	31
54	17	Morelos	1	Amacuzac	42	Parada de Coahuixtla	99°22'38.087" W	18°35'02.764" N	923	34	19	15
55	17	Morelos	1	Amacuzac	44	La Calera	99°23'47.014" W	18°36'17.958" N	934	21	9	12

Continua...

Continúa

56	17	Morelos	1	Amacuzac	47	El Paso de Miahuatlán	99°21'30.340" W	18°35'14.911" N	892	7	0	0
57	17	Morelos	1	Amacuzac	48	El Rosal (El Alacrán)	99°22'08.435" W	18°35'32.773" N	921	12	6	6
58	17	Morelos	1	Amacuzac	53	Colonia Ojo de Agua	99°23'19.628" W	18°36'16.702" N	985	46	23	23
59	17	Morelos	1	Amacuzac	5	Huajintlán	99°25'27.001" W	18°36'35.101" N	926	1788	922	866
60	17	Morelos	1	Amacuzac	9	Teacalco	99°27'14.987" W	18°37'06.173" N	969	711	376	335
61	17	Morelos	1	Amacuzac	19	Colonia Ejidal	99°24'56.855" W	18°36'28.414" N	936	362	180	182
62	17	Morelos	1	Amacuzac	21	Los Limones	99°24'21.539" W	18°36'21.254" N	951	176	86	90
63	17	Morelos	12	Jojutla	9	Río Seco	99°14'39.059" W	18°34'03.513" N	842	238	126	112
64	17	Morelos	12	Jojutla	14	Vicente Aranda	99°14'17.568" W	18°33'39.622" N	844	335	161	174
65	17	Morelos	12	Jojutla	33	Tenerías	99°14'37.025" W	18°33'32.236" N	867	28	14	14
66	17	Morelos	12	Jojutla	70	Las Brasileñas	99°14'44.498" W	18°34'57.073" N	960	105	55	50
67	17	Morelos	12	Jojutla	91	Rancho los Arenales	99°13'12.811" W	18°35'03.359" N	933	1	0	0
68	17	Morelos	12	Jojutla	93	Las Sidras	99°14'48.717" W	18°34'31.108" N	898	5	0	0
69	17	Morelos	12	Jojutla	104	Bomba de las Camarillas	99°13'43.970" W	18°34'36.890" N	865	8	0	0
70	17	Morelos	12	Jojutla	62	Agua del Coyote	99°15'29.953" W	18°34'00.593" N	908	30	13	17
71	17	Morelos	12	Jojutla	71	Campo las Camarillas	99°13'59.000" W	18°35'23.000" N	924	2	0	0
72	17	Morelos	12	Jojutla	72	Campo el Fabián	99°14'29.375" W	18°35'34.497" N	945	44	23	21
73	17	Morelos	12	Jojutla	88	Loma del Coyote	99°15'22.577" W	18°34'21.602" N	943	1	0	0
74	17	Morelos	12	Jojutla	116	Colonia Loma Bonita	99°15'11.769" W	18°35'50.658" N	967	68	37	31
75	17	Morelos	12	Jojutla	123	Fraccionamiento el Proa	99°15'36.122" W	18°35'37.454" N	965	13	5	8
Total de localidades y Totales poblacionales (Total general, Total mujeres, Total hombres)									75	36497	18686	17737

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de Censo de población y vivienda 2020.

Anexo 3: Localidades de la cuenca RAA en la categoría de Felkenmark de Escasez absoluta.

No.	ENTIDAD	NOM_ENT	MUN	NOM_MUN	LOC	NOM_LOC	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	POBTOT	POBFEM	POBMAS
1	12	Guerrero	55	Taxco de Alarcón	32	San José el Potrero	99°28'25.522" W	18°38'48.207" N	1112	847	408	439
2	17	Morelos	5	Coatlán del Río	2	Apancingo	99°27'50.950" W	18°40'45.070" N	1133	546	288	258
3	12	Guerrero	49	Pilcaya	16	Santa Teresa	99°29'08.535" W	18°41'32.410" N	1162	382	192	190
4	15	México	40	Ixtapan de la Sal	4	Rancho San Diego	99°39'49.166" W	18°49'56.215" N	1788	46	21	25
5	15	México	40	Ixtapan de la Sal	5	Coaxusco	99°42'05.106" W	18°47'03.283" N	1695	449	225	224
6	15	México	40	Ixtapan de la Sal	7	Malinaltenango	99°42'40.479" W	18°46'52.482" N	1714	923	488	435
7	15	México	40	Ixtapan de la Sal	8	Mesón Nuevo	99°42'58.830" W	18°48'30.353" N	1744	1030	527	503
8	15	México	40	Ixtapan de la Sal	12	El Refugio	99°42'52.136" W	18°49'48.489" N	1828	479	246	233
9	15	México	40	Ixtapan de la Sal	13	El Salitre	99°39'59.128" W	18°49'18.558" N	1736	896	477	419
10	15	México	40	Ixtapan de la Sal	33	Colonia 3 de Mayo	99°41'37.389" W	18°49'36.992" N	1790	1131	555	576
11	15	México	40	Ixtapan de la Sal	42	24 de Febrero	99°42'25.537" W	18°49'20.247" N	1903	237	127	110
12	15	México	107	Tonatico	1	Tonatico	99°40'15.366" W	18°48'07.270" N	1644	7021	3698	3323
13	15	México	107	Tonatico	5	El Rincón	99°40'54.193" W	18°48'05.607" N	1662	561	285	276
14	15	México	107	Tonatico	8	Los Amates	99°41'06.791" W	18°47'04.890" N	1676	508	262	246
15	15	México	107	Tonatico	9	San Miguel	99°40'08.580" W	18°47'24.186" N	1603	191	102	89
16	15	México	107	Tonatico	18	La Comunidad	99°40'45.656" W	18°48'39.975" N	1672	223	115	108
17	15	México	107	Tonatico	19	El Trapiche	99°40'11.990" W	18°47'41.040" N	1624	77	39	38
18	15	México	107	Tonatico	20	Paso de San Juan	99°40'23.927" W	18°48'43.993" N	1682	333	161	172
19	15	México	40	Ixtapan de la Sal	1	Ixtapan de la Sal	99°40'32.962" W	18°50'40.580" N	1880	19326	10155	9171
20	15	México	40	Ixtapan de la Sal	2	El Abrojo	99°40'06.133" W	18°53'28.964" N	1891	417	210	207
21	15	México	40	Ixtapan de la Sal	6	Llano de la Unión	99°38'05.047" W	18°51'54.731" N	1748	461	248	213
22	15	México	40	Ixtapan de la Sal	9	Los Naranjos	99°40'30.587" W	18°52'33.964" N	2024	310	154	156
23	15	México	40	Ixtapan de la Sal	15	San Diego Alcalá	99°39'21.647" W	18°51'39.899" N	1739	600	281	319
24	15	México	40	Ixtapan de la Sal	16	San José del Arenal	99°42'29.280" W	18°51'58.760" N	2054	942	501	441
25	15	México	40	Ixtapan de la Sal	17	San Miguel Laderas	99°41'42.368" W	18°52'49.428" N	2205	1171	646	525
26	15	México	40	Ixtapan de la Sal	18	Santa Ana Xochuca	99°38'59.385" W	18°52'43.410" N	1818	420	206	214
27	15	México	40	Ixtapan de la Sal	19	Tecomatepec	99°42'15.717" W	18°50'20.695" N	1818	1745	926	819
28	15	México	40	Ixtapan de la Sal	20	Tlacochaca	99°38'51.245" W	18°50'41.225" N	1929	182	77	105
29	15	México	40	Ixtapan de la Sal	21	Yautepec	99°38'12.806" W	18°49'42.487" N	1792	264	125	139
30	15	México	40	Ixtapan de la Sal	25	El Arenal de las Ollas	99°41'51.219" W	18°50'57.175" N	1928	260	138	122
31	15	México	40	Ixtapan de la Sal	30	Juárez	99°40'27.135" W	18°52'00.392" N	2029	144	81	63
32	15	México	40	Ixtapan de la Sal	37	Llano de San Diego	99°39'17.657" W	18°51'58.341" N	1799	313	159	154
33	15	México	40	Ixtapan de la Sal	38	Portezuelos	99°39'37.441" W	18°50'48.015" N	1943	56	30	26
34	15	México	40	Ixtapan de la Sal	39	San Pedro Tlacochaca	99°38'58.882" W	18°51'09.274" N	1811	144	77	67
35	15	México	40	Ixtapan de la Sal	41	San Andrés	99°39'19.928" W	18°50'33.212" N	2000	226	112	114
36	15	México	40	Ixtapan de la Sal	43	Divisadero	99°39'18.500" W	18°52'31.471" N	1847	5	4	1
37	15	México	40	Ixtapan de la Sal	44	San Pedro Tecomatepec	99°42'46.004" W	18°50'50.979" N	1975	215	124	91
38	15	México	88	Tenancingo	30	Tepalcatepec	99°35'58.082" W	18°56'07.014" N	2083	2016	1022	994
39	15	México	88	Tenancingo	44	La Lagunilla	99°37'02.618" W	18°55'37.863" N	2005	843	439	404
40	15	México	88	Tenancingo	55	Colonia San Francisco Tepetzingo	99°36'35.754" W	18°55'49.873" N	2064	400	205	195
41	15	México	88	Tenancingo	57	Colonia Emiliano Zapata	99°36'10.618" W	18°56'00.545" N	2090	606	307	299
42	15	México	88	Tenancingo	1	Tenancingo de Degollado	99°35'37.830" W	18°57'42.589" N	2029	14038	7254	6784
43	15	México	88	Tenancingo	2	Acatzingo (Acatzingo de la Piedra)	99°35'18.425" W	18°55'25.045" N	2157	2275	1127	1148
44	15	México	88	Tenancingo	5	Cruz Vidriada	99°32'24.583" W	18°57'21.995" N	2046	549	287	262
45	15	México	88	Tenancingo	6	Chalchihuapan	99°34'23.713" W	18°58'37.507" N	2062	1544	809	735
46	15	México	88	Tenancingo	8	Gualupita	99°33'57.459" W	18°58'05.055" N	2036	444	222	222
47	15	México	88	Tenancingo	9	Ixpuchiapan	99°35'05.704" W	18°55'55.354" N	2090	1110	585	525
48	15	México	88	Tenancingo	10	Ejido de Tenería (El Llano)	99°33'59.657" W	18°57'25.922" N	2031	1492	765	727
49	15	México	88	Tenancingo	12	Francisco Zarco	99°34'52.397" W	18°59'41.277" N	2257	542	266	276
50	15	México	88	Tenancingo	13	Los Morales	99°34'43.049" W	19°00'13.680" N	2288	342	154	188
51	15	México	88	Tenancingo	15	Pueblo Nuevo	99°35'05.607" W	18°56'49.954" N	2088	1253	647	606
52	15	México	88	Tenancingo	16	Quetzalapa	99°35'49.531" W	18°56'25.753" N	2069	1222	642	580
53	15	México	88	Tenancingo	17	El Salitre	99°35'22.981" W	18°57'09.315" N	2009	5104	2621	2483
54	15	México	88	Tenancingo	19	San José Tenería (Tenería)	99°32'35.473" W	18°56'59.913" N	2046	2855	1479	1376
55	15	México	88	Tenancingo	20	San Juan Tetitlán	99°34'14.148" W	18°58'22.575" N	2058	815	436	379
56	15	México	88	Tenancingo	21	San Martín Coapaxtongo	99°34'17.625" W	18°59'44.725" N	2234	3439	1750	1689
57	15	México	88	Tenancingo	22	San Nicolás	99°34'05.189" W	18°55'59.744" N	2041	2006	1030	976
58	15	México	88	Tenancingo	23	San Simonito	99°32'25.738" W	18°59'24.974" N	2109	2196	1125	1071

Continúa...

Continúa

59	15	México	88	Tenancingo	26	Santa Teresita Acatzingo	99°34'22.657" W	18°56'15.275" N	2036	764	361	403
60	15	México	88	Tenancingo	27	San Miguel Tecomatlán	99°31'44.371" W	18°58'42.703" N	2077	3269	1683	1586
61	15	México	88	Tenancingo	32	Tepoxtepec	99°33'20.707" W	18°57'46.183" N	2049	1213	629	584
62	15	México	88	Tenancingo	33	Terrenate	99°35'36.812" W	18°55'38.479" N	2131	806	426	380
63	15	México	88	Tenancingo	34	La Trinidad	99°35'01.240" W	18°57'48.165" N	2021	4415	2290	2125
64	15	México	88	Tenancingo	39	Rinconada de Atotonilco	99°35'39.965" W	18°58'36.558" N	2109	872	430	442
65	15	México	88	Tenancingo	42	Colonia Ejército del Trabajo	99°36'18.411" W	18°56'52.356" N	2079	618	307	311
66	15	México	88	Tenancingo	43	Colonia Emiliano Zapata	99°33'32.502" W	18°57'13.292" N	2039	3061	1569	1492
67	15	México	88	Tenancingo	45	La Loma	99°32'58.630" W	18°56'16.221" N	2054	46	25	21
68	15	México	88	Tenancingo	46	La Mesita	99°34'52.044" W	18°58'57.744" N	2184	583	301	282
69	15	México	88	Tenancingo	51	Tierra Blanca	99°35'29.730" W	18°58'20.470" N	2096	1206	611	595
70	15	México	88	Tenancingo	52	Plan de Guadalupe	99°31'22.269" W	18°57'26.056" N	2062	268	128	140
71	15	México	88	Tenancingo	53	San Pedro Ejido Tecomatlán	99°31'50.241" W	18°58'02.333" N	2067	1230	649	581
72	15	México	88	Tenancingo	58	Colonia Morelos	99°35'07.590" W	18°58'45.329" N	2129	381	189	192
73	15	México	88	Tenancingo	60	Colonia San Ramón	99°34'20.603" W	18°58'06.141" N	2025	2919	1508	1411
74	15	México	88	Tenancingo	62	Colonia Valle de Guadalupe	99°34'01.208" W	18°57'00.826" N	2037	425	210	215
75	15	México	88	Tenancingo	63	Ejido Ixpuchiapan	99°34'23.794" W	18°56'49.396" N	2025	1270	643	627
76	15	México	88	Tenancingo	65	La Providencia	99°35'50.636" W	18°58'17.315" N	2137	139	75	64
77	15	México	88	Tenancingo	68	Barrio Santa Teresa	99°36'05.534" W	18°57'56.571" N	2020	647	342	305
78	15	México	88	Tenancingo	69	Colonia Lázaro Cárdenas Ixpuchiapan	99°34'01.730" W	18°55'46.443" N	2058	497	256	241
79	15	México	88	Tenancingo	71	La Ciénega	99°34'52.648" W	18°57'20.795" N	2016	4683	2173	2510
80	15	México	88	Tenancingo	72	San Diego	99°35'05.599" W	18°58'34.168" N	2083	1314	700	614
81	15	México	88	Tenancingo	73	San José el Cuartel	99°34'40.308" W	18°57'35.329" N	2024	4982	2660	2322
82	15	México	90	Tenango del Valle	6	San Bartolomé Atlatlahuca	99°36'45.852" W	19°04'10.235" N	2697	7203	3694	3509
83	15	México	90	Tenango del Valle	36	San Pedro Tlanixco	99°39'11.065" W	19°03'51.522" N	2862	6285	3280	3005
84	15	México	90	Tenango del Valle	46	La Cooperativa	99°36'58.139" W	19°04'52.306" N	2800	204	106	98
85	15	México	90	Tenango del Valle	47	La Azteca	99°39'12.827" W	19°04'40.498" N	2913	1836	926	910
86	15	México	90	Tenango del Valle	55	El Guarda	99°38'48.487" W	19°04'48.649" N	2884	214	109	105
87	15	México	90	Tenango del Valle	57	San Román	99°40'18.664" W	19°04'09.856" N	3003	236	116	120
88	15	México	90	Tenango del Valle	63	El Zarzal	99°39'01.866" W	19°03'27.125" N	2809	1005	515	490
89	15	México	90	Tenango del Valle	65	Las Minas	99°36'16.581" W	19°03'38.055" N	2656	346	188	158
90	15	México	90	Tenango del Valle	67	Los Cedros	99°36'26.292" W	19°04'22.030" N	2683	417	208	209
91	15	México	90	Tenango del Valle	68	Colonia San José (Barranca Mocha)	99°38'57.800" W	19°03'34.727" N	2818	290	147	143
92	15	México	90	Tenango del Valle	70	La Loma (Las Ruinas)	99°37'01.480" W	19°04'11.605" N	2746	167	87	80
93	15	México	21	Coatepec Harinas	18	Llano Grande	99°46'02.533" W	18°49'44.668" N	1881	1418	744	674
94	15	México	21	Coatepec Harinas	20	Meyuca de Morelos (Meyuca)	99°46'53.782" W	18°51'05.183" N	1974	642	334	308
95	15	México	21	Coatepec Harinas	25	Puerta del Carmen	99°46'23.324" W	18°50'09.615" N	1935	429	235	194
96	15	México	21	Coatepec Harinas	38	Colonia Adolfo López Mateos	99°45'09.528" W	18°50'44.614" N	1901	48	26	22
97	15	México	107	Tonatico	12	La Vega	99°39'14.926" W	18°45'49.476" N	1599	131	72	59
98	15	México	107	Tonatico	17	El Picacho	99°39'43.822" W	18°49'14.191" N	1746	81	39	42
99	15	México	113	Villa Guerrero	1	Villa Guerrero	99°38'31.199" W	18°57'42.151" N	2159	10336	5387	4949
100	15	México	113	Villa Guerrero	2	Buenavista	99°39'23.640" W	18°56'43.635" N	2098	3115	1573	1542
101	15	México	113	Villa Guerrero	7	El Islote	99°39'33.427" W	18°58'03.950" N	2206	553	298	255
102	15	México	113	Villa Guerrero	9	Jesús Carranza (Rancho de Jesús)	99°37'54.627" W	18°56'42.620" N	2046	1749	853	896
103	15	México	113	Villa Guerrero	19	San Felipe	99°39'15.421" W	18°55'58.770" N	2029	696	333	363
104	15	México	113	Villa Guerrero	20	San Francisco	99°38'52.000" W	18°56'55.000" N	2098	3351	1684	1667
105	15	México	113	Villa Guerrero	23	San Lucas	99°39'35.852" W	18°58'35.989" N	2270	1776	871	905
106	15	México	113	Villa Guerrero	24	San Mateo Coapexco	99°41'01.861" W	18°57'42.601" N	2207	3506	1785	1721
107	15	México	113	Villa Guerrero	28	Santiago Oxtotitlán	99°40'04.510" W	18°57'40.029" N	2177	4654	2428	2226
108	15	México	113	Villa Guerrero	32	Coxcacoaco	99°37'41.409" W	18°57'16.256" N	2078	928	467	461
109	15	México	113	Villa Guerrero	35	La Joya	99°39'12.379" W	18°58'21.307" N	2235	1746	902	844
110	15	México	113	Villa Guerrero	37	Ejido de San Mateo Coapexco	99°38'33.756" W	18°56'54.805" N	2081	1416	710	706
111	15	México	52	Malinalco	24	San Simón el Alto	99°30'14.303" W	18°59'44.057" N	2410	3094	1591	1503
112	17	Morelos	5	Coatlán del Río	3	Benito Juárez	99°27'13.226" W	18°39'48.670" N	1121	333	161	172
113	17	Morelos	5	Coatlán del Río	9	Michapa	99°28'53.397" W	18°42'04.125" N	1193	1127	567	560
114	17	Morelos	5	Coatlán del Río	29	CEFRESO Número 16 CPS	99°26'33.419" W	18°40'44.769" N	1134	833	0	0
115	17	Morelos	5	Coatlán del Río	11	Cuernavaquita	99°29'37.761" W	18°43'12.209" N	1213	46	22	24
116	17	Morelos	5	Coatlán del Río	23	Puente el Arenal (La Joya)	99°27'51.378" W	18°42'51.195" N	1137	165	91	74
Total de localidades y Totales poblacionales (Total general, Total mujeres, Total hombres)									116	184156	94356	88967

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de Censo de población y vivienda 2020.

Anexo 4: Localidades de la cuenca RAA en la categoría de Felkenmark de Escasez hídrica.

No.	ENTIDAD	NOM_ENT	MUN	NOM_MUN	LOC	NOM_LOC	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	POBTOT	POBFEM	POBMAS
1	12	Guerrero	49	Pilcaya	4	Cacahuamilpa	99°30'23.766" W	18°40'57.650" N	1273	973	502	471
2	12	Guerrero	49	Pilcaya	9	CrGrutas de Cacahuamilpa	99°30'38.241" W	18°40'19.874" N	1149	437	218	219
3	12	Guerrero	49	Pilcaya	33	El Transformador	99°29'20.017" W	18°40'21.295" N	1143	165	80	85
4	15	México	40	Ixtapan de la Sal	11	Puerta Grande	99°44'53.170" W	18°50'21.491" N	1878	376	189	187
5	15	México	40	Ixtapan de la Sal	14	San Alejo	99°43'42.566" W	18°50'11.603" N	1840	1277	667	610
6	15	México	88	Tenancingo	31	Tepetzingo	99°36'50.683" W	18°56'33.412" N	2059	3120	1573	1547
7	15	México	49	Jocuingingo	3	Maxtleca de Galeana	99°33'24.899" W	19°01'39.189" N	2472	1297	660	637
8	15	México	88	Tenancingo	35	San Juan Xochiaca	99°32'24.413" W	19°00'42.199" N	2401	3807	1924	1883
9	15	México	88	Tenancingo	36	San Gabriel Zepayautla	99°33'10.640" W	19°00'44.562" N	2468	2579	1316	1263
10	15	México	88	Tenancingo	47	Plan de San Martín	99°33'51.417" W	19°00'33.365" N	2420	195	101	94
11	15	México	21	Coatepec Harinas	33	Las Vueltas	99°51'19.558" W	18°54'10.948" N	2422	374	189	185
12	15	México	21	Coatepec Harinas	41	Monte de las Vueltas	99°52'07.114" W	18°55'09.656" N	2845	241	131	110
13	15	México	21	Coatepec Harinas	1	Coatepec Harinas	99°46'06.667" W	18°55'32.558" N	2262	6944	3666	3278
14	15	México	21	Coatepec Harinas	7	El Cedrito	99°44'34.381" W	18°51'23.310" N	1904	531	269	262
15	15	México	21	Coatepec Harinas	8	La Cercada	99°46'59.031" W	18°52'44.804" N	2036	101	53	48
16	15	México	21	Coatepec Harinas	9	Cochisquilla	99°45'03.421" W	18°54'52.895" N	2182	732	371	361
17	15	México	21	Coatepec Harinas	17	Loma de Acuitlapilco	99°47'09.788" W	18°56'30.808" N	2388	418	226	192
18	15	México	21	Coatepec Harinas	21	Plan de San Francisco	99°43'29.000" W	18°54'09.032" N	2418	441	220	221
19	15	México	21	Coatepec Harinas	24	Primera del Monte (La Presa)	99°46'35.585" W	18°57'21.767" N	2468	757	404	353
20	15	México	21	Coatepec Harinas	26	El Reynoso	99°44'31.241" W	18°53'01.580" N	2031	280	155	125
21	15	México	21	Coatepec Harinas	27	Segunda del Monte (La Presa)	99°46'40.348" W	18°57'22.297" N	2473	414	213	201
22	15	México	21	Coatepec Harinas	30	San Luis (Colonia Hidalgo)	99°45'12.604" W	18°52'31.633" N	1979	697	372	325
23	15	México	21	Coatepec Harinas	47	Colonia Guadalupe	99°46'07.509" W	18°53'54.440" N	2100	642	336	306
24	15	México	21	Coatepec Harinas	49	Primera de Analco	99°46'32.415" W	18°54'09.073" N	2132	1688	875	813
25	15	México	21	Coatepec Harinas	50	Segunda de Analco (La Presa)	99°46'29.250" W	18°55'24.164" N	2257	1037	543	494
26	15	México	21	Coatepec Harinas	51	Primera de Santa Ana	99°46'07.110" W	18°55'58.902" N	2307	750	396	354
27	15	México	21	Coatepec Harinas	52	Segunda de Santa Ana	99°46'15.586" W	18°56'12.895" N	2327	319	166	153
28	15	México	21	Coatepec Harinas	53	Segunda de Zacanguillo	99°46'34.421" W	18°56'57.859" N	2418	714	361	353
29	15	México	21	Coatepec Harinas	56	Cuentla	99°44'44.490" W	18°55'01.465" N	2201	200	104	96
30	15	México	21	Coatepec Harinas	58	Segunda de San Miguel	99°46'00.684" W	18°54'24.018" N	2223	692	363	329
31	15	México	21	Coatepec Harinas	59	Primera de Zacanguillo	99°45'28.095" W	18°54'53.058" N	2167	413	219	194
32	15	México	21	Coatepec Harinas	61	Santo Niño	99°46'54.635" W	18°55'18.297" N	2242	412	212	200
33	15	México	21	Coatepec Harinas	62	Zacatonés	99°47'09.795" W	18°57'28.910" N	2481	1159	608	551
34	15	México	21	Coatepec Harinas	63	Primera de San Miguel	99°46'06.076" W	18°54'36.843" N	2180	106	62	44
35	15	México	21	Coatepec Harinas	2	Acuitlapilco	99°47'12.831" W	18°54'20.840" N	2141	1684	854	830
36	15	México	21	Coatepec Harinas	5	Alta de Laja Azul	99°48'16.018" W	18°53'20.086" N	2006	197	92	105
37	15	México	21	Coatepec Harinas	6	Baja de Laja Azul	99°47'37.203" W	18°52'14.493" N	2029	164	88	76
38	15	México	21	Coatepec Harinas	10	Colonia el Potrero (El Potrero)	99°47'46.686" W	18°53'59.679" N	2110	325	177	148
39	15	México	21	Coatepec Harinas	11	Cruz de Piedra	99°48'51.068" W	18°56'25.787" N	2405	238	121	117
40	15	México	21	Coatepec Harinas	12	Chiltepec de Hidalgo	99°50'04.700" W	18°54'45.183" N	2393	1076	565	511
41	15	México	21	Coatepec Harinas	15	Ixtlahuaca de Villada	99°48'26.966" W	18°55'10.164" N	2162	855	444	411
42	15	México	21	Coatepec Harinas	16	La Laguna	99°49'45.143" W	18°54'27.051" N	2360	115	57	58
43	15	México	21	Coatepec Harinas	19	Las Mesas	99°49'57.734" W	18°55'48.646" N	2441	232	106	126
44	15	México	21	Coatepec Harinas	29	San José del Progreso	99°47'19.535" W	18°56'05.452" N	2340	937	456	481
45	15	México	21	Coatepec Harinas	40	La Galera	99°52'04.108" W	18°55'49.621" N	2858	176	97	79
46	15	México	21	Coatepec Harinas	43	El Picacho	99°50'52.579" W	18°58'09.128" N	2782	252	123	129

Continua...

Continúa

47	15	México	21	Coatepec Harinas	48	San Martín el Salto	99°48'09.959" W	18°56'55.227" N	2417	485	246	239
48	15	México	21	Coatepec Harinas	60	San Pedro	99°49'08.446" W	18°56'10.238" N	2365	226	110	116
49	15	México	21	Coatepec Harinas	68	La Providencia	99°49'58.242" W	18°57'54.182" N	2642	117	62	55
50	15	México	21	Coatepec Harinas	69	Las Trojes	99°50'02.833" W	18°58'29.845" N	2709	203	110	93
51	15	México	119	Zumpahuacán	4	Guadalupe Tlapizalco	99°36'38.107" W	18°52'39.988" N	1800	1084	566	518
52	15	México	119	Zumpahuacán	6	San Antonio Guadalupe	99°36'16.000" W	18°54'14.000" N	1880	901	467	434
53	15	México	119	Zumpahuacán	8	San Pablo Tejalpa	99°35'27.623" W	18°51'59.077" N	1703	1837	957	880
54	15	México	119	Zumpahuacán	10	Santa Cruz de los Pilares	99°37'06.753" W	18°54'53.639" N	1934	564	292	272
55	15	México	119	Zumpahuacán	24	Santa Catarina	99°35'01.498" W	18°53'00.324" N	1906	713	371	342
56	15	México	119	Zumpahuacán	26	San José Tecontla	99°34'58.678" W	18°53'39.945" N	2001	37	16	21
57	15	México	119	Zumpahuacán	33	Llano del Copal	99°36'02.929" W	18°51'34.523" N	1743	343	177	166
58	15	México	113	Villa Guerrero	5	Cruz Vidriada	99°38'34.365" W	19°00'21.085" N	2430	802	395	407
59	15	México	113	Villa Guerrero	12	El Moral	99°40'05.313" W	19°00'54.662" N	2504	1244	648	596
60	15	México	113	Villa Guerrero	17	San Bartolomé (San Bartolo)	99°40'36.212" W	19°00'23.538" N	2431	2740	1423	1317
61	15	México	113	Villa Guerrero	18	San Diego	99°39'17.527" W	19°00'28.482" N	2424	1818	914	904
62	15	México	113	Villa Guerrero	22	San José	99°39'46.330" W	19°00'28.783" N	2434	2412	1237	1175
63	15	México	113	Villa Guerrero	25	San Miguel	99°39'57.258" W	18°59'38.511" N	2358	1851	919	932
64	15	México	113	Villa Guerrero	27	Santa María Aranzazú	99°39'01.088" W	18°59'17.182" N	2300	2912	1510	1402
65	15	México	113	Villa Guerrero	38	Los Ranchos de San José	99°39'53.532" W	19°02'24.883" N	2763	816	407	409
66	15	México	113	Villa Guerrero	43	Potrero del Moral	99°40'22.329" W	19°02'37.978" N	2746	121	58	63
67	15	México	113	Villa Guerrero	48	Cuajimalpa (Los Cuervos)	99°41'27.810" W	19°00'38.886" N	2465	143	61	82
68	15	México	113	Villa Guerrero	57	El Venturero	99°39'06.402" W	19°00'30.204" N	2428	611	307	304
69	15	México	113	Villa Guerrero	62	Potreros Santa María	99°38'49.188" W	19°00'55.005" N	2462	190	101	89
70	15	México	113	Villa Guerrero	64	Zanjillas San Bartolomé	99°40'27.727" W	19°01'14.572" N	2557	648	339	309
71	15	México	97	Texcaltitlán	1	Texcaltitlán	99°56'21.396" W	18°55'49.402" N	2404	2915	1543	1372
72	15	México	97	Texcaltitlán	2	Acatitlán	99°56'55.266" W	18°55'17.256" N	2406	810	406	404
73	15	México	97	Texcaltitlán	3	Arroyo Seco	99°55'45.773" W	18°55'01.347" N	2332	285	140	145
74	15	México	97	Texcaltitlán	5	El Chapaneal	99°57'15.217" W	18°56'43.525" N	2386	839	430	409
75	15	México	97	Texcaltitlán	6	Chiquiuntepec (Chiquiuntepec)	99°55'02.890" W	18°54'48.561" N	2332	472	243	229
76	15	México	97	Texcaltitlán	9	Jesús del Monte	99°56'46.372" W	18°54'45.772" N	2365	571	290	281
77	15	México	97	Texcaltitlán	14	San Agustín	99°56'29.844" W	18°56'27.840" N	2360	1412	711	701
78	15	México	97	Texcaltitlán	15	San Francisco	99°55'48.841" W	18°54'37.014" N	2319	997	534	463
79	15	México	97	Texcaltitlán	16	San Miguel	99°56'59.528" W	18°55'49.785" N	2445	171	92	79
80	15	México	97	Texcaltitlán	17	Santa María	99°55'56.531" W	18°55'23.834" N	2368	880	425	455
81	15	México	97	Texcaltitlán	18	Texcapilla	99°53'42.406" W	18°56'43.612" N	2894	1447	759	688
82	15	México	97	Texcaltitlán	30	Agua del Trébol	99°58'40.087" W	18°55'30.693" N	2955	21	9	12
83	15	México	97	Texcaltitlán	33	Nueva Santa María	99°54'26.751" W	18°56'12.606" N	2941	377	189	188
84	15	México	97	Texcaltitlán	37	San José	99°56'31.598" W	18°57'09.247" N	2411	287	142	145
85	15	México	97	Texcaltitlán	56	El Salto	99°54'46.479" W	18°57'09.539" N	2827	196	97	99
86	15	México	49	Jiquicingo	1	Jiquicingo de León Guzmán	99°31'54.544" W	19°02'57.222" N	2629	4832	2452	2380
87	15	México	49	Jiquicingo	9	La Campana	99°32'23.459" W	19°02'51.175" N	2676	158	76	82
88	15	México	49	Jiquicingo	10	El Puente de Santiago	99°32'01.726" W	19°03'25.137" N	2656	18	9	9
89	15	México	49	Jiquicingo	11	El Tlachichil	99°31'38.651" W	19°02'38.161" N	2646	46	23	23
90	15	México	49	Jiquicingo	12	Pilaco	99°31'49.979" W	19°03'08.727" N	2628	200	100	100
91	15	México	49	Jiquicingo	13	Barranca Honda	99°31'39.960" W	19°02'54.560" N	2631	160	78	82
Total de localidades y Totales poblacionales (Total general, Total mujeres, Total hombres)									91	80451	41365	39086

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de Censo de población y vivienda 2020.

Anexo 5: Localidades de la cuenca RAA en la categoría de Felkenmark de Estrés hídrico.

No.	ENTIDAD	NOM_ENT	MUN	NOM_MUN	LOC	NOM_LOC	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	POBTOT	POBFEM	POBMAS
1	12	Guerrero	49	Pilcaya	1	Pilcaya	99°40'34.229"	18°44'51.302"	1619	6184	3180	3004
2	12	Guerrero	49	Pilcaya	3	El Bosque	99°41'25.215"	18°42'20.315"	1487	159	91	68
3	12	Guerrero	49	Pilcaya	5	La Concepción	99°41'31.957"	18°46'01.952"	1660	1206	613	593
4	12	Guerrero	49	Pilcaya	7	Chichila	99°39'05.116"	18°42'46.225"	1279	47	20	27
5	12	Guerrero	49	Pilcaya	10	Juchmilpa	99°42'02.870"	18°42'41.155"	1645	297	146	151
6	12	Guerrero	49	Pilcaya	12	Nombre de Di	99°43'31.839"	18°44'13.170"	1553	40	22	18
7	12	Guerrero	49	Pilcaya	14	El Platanar	99°41'16.511"	18°42'49.882"	1442	207	107	100
8	12	Guerrero	49	Pilcaya	17	Los Sauces	99°40'25.877"	18°41'45.726"	1562	104	54	50
9	12	Guerrero	49	Pilcaya	18	El Sauz	99°42'47.937"	18°43'42.518"	1655	395	186	209
10	12	Guerrero	49	Pilcaya	34	Poza Larga (Pi	99°40'19.013"	18°45'23.567"	1602	26	12	14
11	12	Guerrero	49	Pilcaya	37	Los Puentes	99°40'17.726"	18°42'54.023"	1287	6	0	0
12	12	Guerrero	49	Pilcaya	38	La Quinta	99°39'36.781"	18°44'40.064"	1586	42	21	21
13	12	Guerrero	49	Pilcaya	39	Rancho Yehua	99°39'07.434"	18°44'42.271"	1570	4	0	0
14	12	Guerrero	49	Pilcaya	40	Rancho Tezca	99°40'08.546"	18°44'40.082"	1609	10	0	0
15	12	Guerrero	49	Pilcaya	41	Llano Grande	99°40'00.645"	18°44'28.087"	1602	7	3	4
16	12	Guerrero	49	Pilcaya	44	San Andrés Ur	99°40'55.059"	18°44'59.034"	1620	17	11	6
17	12	Guerrero	49	Pilcaya	45	Ninguno	99°40'53.677"	18°45'42.930"	1635	141	76	65
18	12	Guerrero	49	Pilcaya	50	El Colorín	99°39'40.956"	18°43'36.424"	1581	6	2	4
19	12	Guerrero	49	Pilcaya	53	Llano Chiquito	99°39'57.029"	18°45'05.954"	1598	4	1	3
20	12	Guerrero	60	Tetipac	34	Bordo Mora	99°41'50.104"	18°42'20.410"	1619	142	69	73
21	15	México	88	Tenancingo	3	San Antonio A	99°37'23.416"	19°00'09.086"	2397	1013	500	513
22	15	México	88	Tenancingo	11	Monte de Poz	99°36'33.717"	19°00'00.385"	2402	23	10	13
23	15	México	88	Tenancingo	24	Santa Ana Ixtl	99°37'33.729"	18°58'15.936"	2115	7542	3819	3723
24	15	México	88	Tenancingo	37	Rinconada de	99°36'06.098"	18°58'17.465"	2057	551	279	272
25	15	México	88	Tenancingo	40	La Compuerta	99°35'57.971"	18°58'37.867"	2154	1019	512	507
26	15	México	88	Tenancingo	59	Agua Bendita	99°36'01.719"	18°59'21.386"	2404	191	94	97
27	15	México	88	Tenancingo	67	La Ocotalera	99°36'30.332"	18°58'19.594"	2077	512	274	238
28	15	México	90	Tenango del Va	77	La Tinaja	99°35'18.285"	19°02'25.966"	2606	156	76	80
29	15	México	90	Tenango del Va	78	Las Peñitas	99°35'12.351"	19°02'17.543"	2636	324	157	167
30	15	México	90	Tenango del Va	28	San Francisco	99°32'53.410"	19°03'35.201"	2681	3548	1843	1705
31	15	México	90	Tenango del Va	37	San Pedro Zict	99°34'37.633"	19°02'12.357"	2569	5988	3138	2850
32	15	México	90	Tenango del Va	48	La Isleta	99°33'57.331"	19°00'48.905"	2461	469	232	237
33	15	México	90	Tenango del Va	49	La Haciendita	99°33'44.859"	19°01'59.590"	2507	430	209	221
34	15	México	90	Tenango del Va	50	La Herradura	99°35'04.999"	19°02'25.442"	2596	683	345	338
35	15	México	90	Tenango del Va	64	Cruz Blanca	99°34'07.940"	19°01'56.826"	2510	153	74	79
36	15	México	90	Tenango del Va	74	Los Lavaderos	99°32'59.117"	19°03'11.723"	2661	376	177	199
37	15	México	90	Tenango del Va	80	Pie del Cerro	99°34'26.228"	19°02'42.507"	2696	17	10	7
38	15	México	90	Tenango del Va	86	La Agüita	99°33'05.741"	19°03'57.522"	2724	143	84	59
39	15	México	107	Tonatico	2	La Audiencia	99°37'39.662"	18°48'51.465"	1725	446	221	225

Continúa...

Continúa

40	15	México	107	Tonatico	3	Ojo de Agua	99°36'45.609"	18°44'35.614"	1563	15	8	7	
41	15	México	107	Tonatico	4	La Puerta de S	99°37'26.739"	18°45'56.226"	1603	747	379	368	
42	15	México	107	Tonatico	6	Salinas	99°38'34.112"	18°47'50.996"	1665	278	132	146	
43	15	México	107	Tonatico	7	San Bartolo	99°37'41.662"	18°47'56.722"	1621	153	84	69	
44	15	México	107	Tonatico	10	El Terrero	99°38'51.922"	18°47'28.218"	1600	1365	703	662	
45	15	México	107	Tonatico	11	Tlacopan	99°38'58.531"	18°48'57.625"	1753	326	152	174	
46	15	México	107	Tonatico	13	El Zapote	99°37'55.725"	18°46'15.468"	1597	444	219	225	
47	15	México	107	Tonatico	16	San Martín	99°36'21.039"	18°44'52.315"	1538	12	6	6	
48	15	México	4	Almoloya de Al	1	Almoloya de A	99°53'37.681"	18°52'02.038"	1962	3158	1681	1477	
49	15	México	4	Almoloya de Al	2	Ahuacatlán	99°54'55.781"	18°52'46.137"	2126	450	253	197	
50	15	México	4	Almoloya de Al	3	Agua Fria	99°52'36.793"	18°51'50.953"	1918	674	336	338	
51	15	México	4	Almoloya de Al	6	Cuahtenco	99°53'10.043"	18°51'33.453"	1953	899	465	434	
52	15	México	4	Almoloya de Al	7	Jaltepec de Ar	99°53'30.163"	18°52'22.950"	2072	536	291	245	
53	15	México	4	Almoloya de Al	9	Las Mesas	99°52'21.855"	18°52'52.557"	2103	527	269	258	
54	15	México	4	Almoloya de Al	12	Plan de Vigas	99°52'55.108"	18°48'15.234"	2441	601	330	271	
55	15	México	4	Almoloya de Al	13	Plutarco Gonz	99°55'36.339"	18°54'03.000"	2263	158	90	68	
56	15	México	4	Almoloya de Al	14	Quinta Manza	99°54'29.812"	18°52'44.045"	2163	553	271	282	
57	15	México	4	Almoloya de Al	15	San Andrés Te	99°55'07.485"	18°53'53.105"	2260	1779	893	886	
58	15	México	4	Almoloya de Al	17	Tepehuajes	99°52'09.799"	18°51'30.834"	1887	536	277	259	
59	15	México	4	Almoloya de Al	24	Capulmanca	99°53'56.530"	18°53'59.106"	2322	158	87	71	
60	15	México	4	Almoloya de Al	27	Mesa del Río	99°51'53.331"	18°51'41.675"	1902	170	92	78	
61	15	México	4	Almoloya de Al	28	El Mirador	99°53'00.118"	18°50'04.635"	2415	103	69	34	
62	15	México	4	Almoloya de Al	29	Los Ranchos	99°51'24.779"	18°51'45.368"	1899	50	23	27	
63	15	México	4	Almoloya de Al	32	Cuarta Manza	99°53'45.358"	18°51'29.393"	2084	354	183	171	
64	15	México	4	Almoloya de Al	33	Cerro de Tlap	99°54'00.477"	18°52'04.732"	2065	190	100	90	
65	15	México	4	Almoloya de Al	34	Los Pinos	99°54'17.719"	18°48'54.195"	2621	377	219	158	
66	15	México	4	Almoloya de Al	38	Totoltepec de	99°51'52.451"	18°50'37.688"	1988	84	45	39	
67	15	México	4	Almoloya de Al	39	La Lobera	99°53'05.547"	18°49'32.915"	2541	152	80	72	
68	15	México	113	Villa Guerrero	3	El Carmen	99°43'03.201"	18°54'50.095"	2437	1000	531	469	
69	15	México	113	Villa Guerrero	8	El Izote	99°42'13.661"	18°55'09.267"	2188	192	102	90	
70	15	México	113	Villa Guerrero	10	La Loma de la	99°42'31.610"	18°57'13.610"	2231	905	450	455	
71	15	México	113	Villa Guerrero	11	Matlazinca	99°42'26.715"	18°56'13.302"	2226	438	223	215	
72	15	México	113	Villa Guerrero	13	Porfirio Díaz	99°43'35.110"	18°55'44.843"	2446	1435	718	717	
73	15	México	113	Villa Guerrero	21	San Gaspar	99°42'04.197"	18°57'06.197"	2192	1827	936	891	
74	15	México	113	Villa Guerrero	26	San Pedro Bue	99°42'34.808"	18°55'38.165"	2440	357	179	178	
75	15	México	113	Villa Guerrero	29	Tequimilpa	99°42'57.742"	18°56'46.725"	2167	189	98	91	
76	15	México	113	Villa Guerrero	30	Totolmajac	99°41'10.465"	18°55'36.472"	2039	1967	1010	957	
77	15	México	113	Villa Guerrero	31	Zacango	99°41'30.359"	18°56'55.806"	2151	4164	2076	2088	
78	15	México	113	Villa Guerrero	36	El Peñón	99°43'28.928"	18°57'28.208"	2404	121	66	55	
79	15	México	113	Villa Guerrero	46	Loma del Cap	99°42'01.522"	18°58'37.805"	2367	41	21	20	
Total de localidades y Totales poblacionales (Total general, Total mujeres, Total hombres)										79	60113	30815	29278

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de Censo de población y vivienda 2020.