**Introducción**

La seguridad hídrica (SH) es un componente estratégico para el desarrollo territorial. Para los países de América Latina y el Caribe en particular, el alcance de una adecuada SH es de alta prioridad debido al papel central de los recursos hídricos en el desarrollo social y económico de la región (Peña, 2016). Actualmente, la valoración de la SH es reconocida como un punto de partida para establecer escenarios futuros, lo que ha promovido un campo activo de investigación y deliberación (Lemos et al., 2016; Sun, Staddon & Chen, 2016; Wilders, 2016).

México enfrenta enormes retos para alcanzar la SH en el presente, y garantizarla para el futuro (Martínez-Austria, 2013). Sin embargo, la valoración de la condición presente de SH es una práctica poco realizada. Esta se complica por la insuficiencia de datos hidrológicos, biofísicos y socio-culturales a la resolución espacial y temporal adecuada; así como por la alta diversidad de actividades económicas, actores e intereses en interacción. Se requiere de manera urgente aplicar la valoración de la SH en estudios de caso con enfoques que faciliten su aplicación en todo el país.

La valoración de la SH presenta retos conceptuales y metodológicos. En términos operativos, se requiere al menos de tres elementos: una definición de SH (qué medir), una unidad espacial de interés (dónde medir), y un conjunto de instrumentos de medición (cómo medir). Adicionalmente, es deseable integrar la información sobre la condición de SH, de manera de construir significados completos para múltiples audiencias, e.g. funcionarios gubernamentales, grupos sociales, comunidades rurales y empresarios. La información significativa para múltiples actores que comparten espacios geográficos facilita la concepción de la SH como un bien público y social y, consecuentemente, los procesos de negociación y acción colectiva.

La selección de 'qué medir' requiere una definición aceptada de SH. En 2007, Grey y Sadoff propusieron dos dimensiones ya clásicas: la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente para las necesidades domésticas y productivas; y un riesgo razonable frente a los efectos destructivos de la falta o exceso de agua. Más recientemente, otras dimensiones han enriquecido el concepto como la preservación de ecosistemas naturales, resolución de conflictos por el agua, promoción de estabilidad política y desarrollo sostenible, entre otras (Cook & Bakker, 2012; UNWater, 2013; Vörösmarty et al., 2013; Varis, Keskinen & Kummu, 2017).

En relación con el 'dónde medir', la perspectiva geográfica señala a la cuenca hidrográfica como la unidad idónea. Sin embargo, las valoraciones de SH realizadas desde esta aproximación son muy escasas. Basta mencionar que 'cuenca hidrográfica’ es un término ausente en las definiciones de SH revisadas por Cook y Bakker (2012), así como en los estudios que valoran la SH desde una perspectiva ecológica (Vörösmarty et al., 2000; Keirle & Hayes, 2007; Warner, Wester & Bolding, 2008; Cook et al., 2013). Cabe recordar que la cuenca es el contexto natural para establecer la heterogeneidad biofísica que determina los procesos hidrológicos; explicar la distribución espacial de las actividades humanas; y capturar las relaciones (cuenca) arriba-abajo que afectan la cantidad y calidad de agua (Jun & Yongyong, 2008; Cohen & Davidson, 2011; Garrick & Hall, 2014; Pahl-Wostl, Palmer, & Richards, 2013; Burgos & Bocco, 2015). Sobre todo, la cuenca es la unidad para la gestión del agua, de modo que la valoración de la SH debería ser un insumo clave para la gestión de cuencas.

La búsqueda de 'cómo medir' se ha apoyado principalmente en el diseño y uso de indicadores (Sullivan, 2002; Sullivan & Meigh, 2007; Xiao et al., 2008; Pérez & Garriga, 2011; Norman et al., 2013; Garrick & Hall, 2014; Ding, Wei, Dai, & Tang, 2014; Dickson, Schuster & Newton, 2016); sin embargo estos han mostrado limitaciones, en especial desde el punto de vista operacional y de interpretación (Lemos et al., 2016; Sun, Staddon & Chen, 2016; Wilders, 2016). Otros instrumentos usados en valoraciones ambientales son los descriptores, aunque su uso está ausente en el campo de la SH. Las particularidades de ambos instrumentos son revisadas más abajo.

El objetivo de este trabajo es valorar la SH en dos cuencas rurales del Centro-Occidente de México con base en el enfoque de cuenca hidrográfica y el uso de descriptores ambientales. Sin pretender una revisión exhaustiva, primero se establecen algunas precisiones sobre los indicadores y descriptores como instrumentos para la valoración ambiental. En la siguiente sección, se presentan los casos de estudio y su contexto. Luego se explica detalladamente el método, basado en la selección y análisis de descriptores ambientales. Posteriormente, se presentan los principales resultados y su integración en un relato descriptivo que construye significados completos, más apto para la comunicación a una audiencia no especializada. Finalmente, se discuten los alcances y limitaciones del marco analítico empleado y su pertinencia para articular la valoración de la SH con la gestión de cuencas.

**Valoración de la SH: indicadores y descriptores**

La valoración de la SH es un procedimiento orientado a reconocer la condición presente en un lugar y momento dado (línea-base) y, eventualmente, los cambios temporales. Este tipo de valoraciones pueden realizarse mediante dos instrumentos principales: los indicadores y los descriptores ambientales.

Los indicadores son los instrumentos más utilizados, pero también los más cuestionados (Lemos et al., 2016; Varady et al., 2016, Wilder et al., 2016). En términos generales, los indicadores son variables-clave o combinaciones de éstas, que permiten ponderar la condición (estatus) de atributos específicos altamente sensibles a los cambios que desean ser observados (Heink & Kowarick, 2010). Dichas variables quedan resumidas en promedios aritméticos, y requieren ser normalizadas para integrar índices que son expresados en valores adimensionales o categorías. Los indicadores son ampliamente utilizados porque simplifican realidades complejas y pueden ser calculados fácilmente desde datos tabulados, cuando éstos están disponibles. Pero la debilidad de los índices radica justamente en su origen en modelos agrupados que simplifican la realidad compleja. Al provenir de datos agrupados, los índices no capturan de manera explícita la variabilidad espacial del atributo evaluado, ni las relaciones espaciales que inciden sobre éste. Si bien los indicadores son fáciles de comunicar a usuarios y tomadores de decisiones, hay una pérdida de significados. Así, los indicadores resultan “cajas negras”, de difícil interpretación para no expertos (Mason & Calow, 2012). En países periféricos y áreas rurales, es frecuente que se carezca de datos primarios o que éstos provengan de fuentes poco confiables. Esto se subsana con valores aproximados o débilmente estimados, lo que conduce a valores finales de indicadores de SH aparentemente confiables por ser cuantitativos, pero que ciertamente encierran una alta incertidumbre.

Los descriptores son el segundo instrumento disponible para valorar la SH. En este trabajo se denomina descriptor a un conjunto de atributos cuantitativos y cualitativos afines, que pueden ser integrados mediante la conexión congruente de la información que brindan. Los descriptores permiten capturar la condición de un aspecto o dimensión particular de manera cuantitativa y semi-cuantitativa, logrando significados más completos. Su virtud es la capacidad para encapsular datos (Zimmerman, 2016), y son ampliamente utilizados para la caracterización de cuencas (Kershner et al., 2004). A diferencia de los indicadores, los descriptores no constituyen unidades de medición específicas. Si bien los descriptores tienen una fuerte base cuantitativa, los datos de origen no se desnaturalizan de su significado como ocurre con los indicadores. Los descriptores son más flexibles para relacionar datos cuantitativos y categóricos, datos antecedentes, y otros derivados de modelos de simulación. Ello permite un nivel mayor de integración de información así como subsanar faltantes sin incrementar la incertidumbre informativa, y son muy apropiados para establecer condiciones de línea-base. El uso e interpretación de descriptores requiere conocimiento técnico especializado, de modo que no son tan accesibles a tomadores de decisiones y público no experto.

**Cuencas de estudio**

La valoración de la SH se realizó en dos cuencas del Centro-Occidente de México. Esta región abarca nueve estados del país y destaca por la prosperidad de sus polos de innovación, así como por su medio rural que contribuye a la seguridad alimentaria nacional y a la exportación agrícola (Silva, Sergio & Luis, 2010). Las cuencas se ubicaron en los Estados de Aguascalientes y Michoacán, que presentan condiciones contrastantes. Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI, 2010), Aguascalientes ocupa el segundo lugar en esta región, por sus altos valores de PIB e Índice de Desarrollo Humano; mientras que Michoacán está último debido a su debilidad institucional, inseguridad y pobreza. Las cuencas de estudio se denominan Juan El Grande en Aguascalientes, y San Pedro Jorullo en Michoacán (Figura 1). La primera pertenece a la Región Hidrológica Administrativa (RHA) VIII Lerma-Santiago, y la segunda a la RHA IV Balsas. Las cuencas son de tipo rural por la preponderancia de pequeños asentamientos y actividades primarias; su extensión es mediana y su complejidad territorial es baja o moderada (Cuadro 1). Ambas cuencas constituyen sitios de investigación de largo plazo para el diseño y aplicación de modelos de desarrollo territorial; de modo que la valoración de la condición actual de SH es parte esencial de dichas investigaciones (Burgos, Páez, Carmona & Rivas, 2013; Sosa, 2011).

**Método**

Se adoptó la definición de SH de Grey y Sadoff (2007) que abarca dos dimensiones ampliamente reconocidas (Gerlak et al., 2018; Srinivasan, Konar & Sivapalan, 2017; Varady et al., 2016; Zeitoun et al., 2016): i) el abasto de agua en cantidad y calidad para el uso humano y las actividades productivas, y ii) el riesgo hídrico. Cada dimensión se separó en dos componentes: agua para uso doméstico (AD) y agua para usos productivos (AP), para la primera; y amenazas hídricas (AH) y reducción del riesgo hídrico (RH), para la segunda. Otras dimensiones de SH quedaron fuera de los alcances de este trabajo pero pueden ser fácilmente incorporadas siguiendo los procedimientos aquí utilizados. Cabe señalar que este estudio no tuvo fines comparativos entre las cuencas rurales de Aguascalientes y Michoacán, sino que se orientó a reconocer el abanico de condiciones de SH bajo contextos geográficos e institucionales marcadamente diferenciados que co-existen en las entidades federativas (Estados) dentro de la región Centro-Occidente de México.

**Selección de descriptores**

La valoración de los componentes de SH se realizó con descriptores elegidos de la siguiente manera. Primero se formularon más de 40 preguntas sobre los cuatro componentes que, a criterio del grupo de trabajo, eran relevantes para generar conocimiento sobre los casos de estudio. Para cada pregunta se revisaron los descriptores de acuerdo a los datos disponibles. La falta de información completa o confiable, así como la eliminación de descriptores redundantes, resultó en la batería de 16 descriptores seleccionados (Cuadro 2). Este número se ubica dentro del rango señalado por Sun, Staddon y Chen (2016) para una mejor valoración o análisis de la seguridad hídrica sin importar la escala. De los 16 descriptores seleccionados, 11 se aplicaron a escala de cuenca y cinco de subcuenca, siendo esta última la escala en la que cada vez recae un mayor interés (Gerlak et al., 2018). La valoración bi-escalar (cuenca, subcuenca) es importante para capturar la heterogeneidad espacial en algunos descriptores seleccionados (Zeitoun et al., 2016, Garfin et al., 2016). La generación e integración de información en cada descriptor requirió la aplicación de técnicas analíticas específicas, que se detallan a continuación.

**Descriptores de amenazas hídricas**

Las amenazas hídricas (componente AH) fueron reconocidas mediante cinco descriptores; cuatro de éstos aplicados a escala de cuenca y uno de subcuenca (Cuadro 2).

El descriptor AH-1 abarca los rasgos climáticos y se enfoca en detectar el déficit o exceso de agua. Se integró con información derivada del análisis climático y el balance hídrico (BH) a escala de cuenca. Para el análisis climático se utilizaron las estaciones meteorológicas administradas por el Servicio Meteorológico Nacional (Comisión Nacional del Agua (Conagua) 2013). En la cuenca Juan El Grande se emplearon las estaciones Palo Alto, Jesús Terán y Los Conos, con datos desde 1940 a 2010 (70 años), mientras que en la cuenca San Pedro Jorullo fueron las estaciones El Zapote y La Huacana, con datos desde 1950 a 2010 (60 años). Los datos de precipitación y temperaturas (máxima y mínima) se procesaron para obtener valores anuales y promedios mensuales, para su posterior uso y representación gráfica. El BH fue estimado con el modelo hidrológico del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), que ofrece una interface gráfica de fácil uso (McCabe & Markstrom, 2007). Este modelo utiliza el método de Thornthwaite y Mather, y sus datos de entrada son la temperatura media mensual (en °C), la precipitación media mensual (en milímetros) y la latitud (en grados decimales).

El descriptor AH-2 analiza la frecuencia de años con precipitaciones extremas. La precipitación anual (P) de las series históricas, se clasificó con base en el promedio (Pm) y desvío estándar (D.S.) de cada serie, reconociendo seis clases de años desde ‘muy seco’ a ‘muy húmedo’. La clase año ‘muy seco’ abarca valores de P entre Pm- 3D.S. y Pm - 2D.S, mientras que la clase ´muy húmedo’ se ubica entre Pm+ 2D.S. y Pm +3D.S. La clase ‘muy seco’ tiene límites de Pm - 2D.S. y Pm - 1D.S., y la de ‘muy húmedo’ de Pm + 2D.S. y Pm + 1D.S. El medio del rango de P abarca las clases ‘normal-seco’, entre el valor de Pm y Pm - 1D.S; y ‘normal-húmedo’, entre Pm y Pm+1D.S (Prohaska, 1952).

El descriptor AH-3 informa sobre las condiciones climáticas intranuales observadas en años extremos. Los datos de precipitación y temperatura mensual de los años muy secos y muy húmedos identificados en AH-2 fueron promediados para establecer los patrones con base mensual, de la precipitación y temperatura media bajo estas condiciones.

Los descriptores AH-4 y AH-5 buscan inferir el movimiento del agua superficial y la respuesta hidrológica a escala de cuenca y subcuencas, respectivamente. El descriptor AH-4 analiza parámetros morfométricos que cuantifican el medio físico en términos de la forma de la cuenca (área, perímetro, razón de elongación), su relieve (altitudes máximas y rango de elevación) y características del drenaje (densidad de drenaje, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce principal, tiempo de concentración y orden de corriente). Estos parámetros fueron calculados con apoyo de un Sistema de Información Geográfica operado con el programa ArcGis 9.3 y la aplicación de fórmulas ampliamente establecidas en la literatura especializada (Bermúdez & Díaz 1987; Knighton 1998). En el descriptor AH-5, los mismos parámetros fueron calculados para subcuencas seleccionadas en los sectores alto, medio y bajo de cada cuenca con el fin de reconocer la variabilidad interna en la respuesta hidrológica.

**Descriptores de agua para uso doméstico**

Para valorar el agua para uso doméstico (componente AD), se seleccionaron cinco descriptores de las características de la población actual y la demanda de agua (Cuadro 2).

Los descriptores AD-1 y AD-2 revisan la condición socio-demográfica de las cuencas y subcuencas seleccionadas, respectivamente. Para éstos se considera el tipo de localidad y su distribución espacial, la marginación social y tendencias demográficas. Las fuentes de información fueron las bases de datos censales por localidad para los años 2000 y 2010, reportadas por el (INEGI), y los datos del índice de marginación para 2010 del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

Los descriptores AD-3 a AD-5 se aplican a nivel de subcuencas. El descriptor AD-3 recopila las fuentes de agua para el abasto a localidades, la infraestructura para su aprovechamiento y una estimación de los volúmenes de agua extraída. En los casos analizados, el tipo y cantidad de fuentes de agua se derivaron de artículos y reportes técnicos de proyectos de investigación en los cuales se inserta este estudio (Burgos, Páez, Carmona & Rivas, 2013; Sosa, 2011), y se complementaron con recorridos de campo. Para estimar el rendimiento de norias y manantiales, se realizaron entrevistas a habitantes locales con amplio conocimiento de los recursos hídricos locales. Estas referencias informales constituyen valores relativos y abonaron al fortalecimiento de los descriptores. Por su parte, los datos de pozos profundos en operación y los volúmenes de extracción, se obtuvieron de reportes de la Conagua. El descriptor AD-4 estima la demanda hídrica para uso doméstico de la población presente y futura. Éste fue calculado con base en el número de habitantes del último censo disponible (2010) y para el 2020, a partir de las tendencias demográficas derivadas del descriptor AD-2. El número de habitantes fue multiplicado por un volumen de 100 l.día-1.persona-1, considerado como satisfacción hídrica ‘óptima’ (Howard & Bartram, 2003; Gleick, 1996; WHO-UNICEF, 2010).

Finalmente, el descriptor AD-5 valora el nivel de satisfacción hídrica actual mediante dos atributos. El primero es la satisfacción hídrica potencial actual basado en el volumen estimado de agua extraída establecido en AD-3, dividido entre el número de habitantes del último censo. La clasificación de la satisfacción hídrica potencial abarcó los niveles de ‘óptima’ antes mencionado, de ‘sub-óptima’ cuando el volumen se ubicó entre 50 y 100 l.día-1.persona-1, e ‘insuficiente’ cuando la estimación arrojó volúmenes menores a 50 l.día-1.persona-1. El segundo aspecto fue el acceso a agua entubada en las viviendas y su abasto a lo largo del año, datos que fueron obtenidos de registros censales y completados con testimonios locales recogidos en campo.

**Descriptores de agua para actividades productivas**

Para este componente (componente AP). se seleccionaron cinco descriptores en torno a las actividades productivas que sostienen la economía de las cuencas, básicamente actividades primarias (Cuadro 2).

El descriptor AP-1 es indicativo de las actividades productivas primarias a partir de la cubierta del suelo para la fecha más actual. Para derivar los usos del suelo y los sistemas de producción presentes, la información de cubiertas se completó con estadísticas oficiales del sector agropecuario y económico, estudios publicados y conocimiento experto sobre el área de estudio (Cuadro 6). Por su parte, el descriptor AP-2 analiza los cambios en la cubierta ocurridos en un periodo determinado para reconocer las tendencias en el abandono o expansión de las actividades productivas primarias. Para estos descriptores se utilizaron datos espaciales de cubierta del suelo para los años 2002 y 2011 disponibles en las Series III y V del INEGI, respectivamente.

El descriptor AP-3 reconoce la correspondencia agroclimática de las actividades primarias preponderantes en las cuencas. Se recopilaron los requerimientos climáticos de los cultivos dominantes (Ruíz et al., 2013) y de consumo de agua por tipo de ganado (Fernández et al*.,* 2012), y se los comparó con los descriptores de amenazas hídricas climáticas AH-1 y AH-2. Por último, el descriptor AP-4 reúne información disponible sobre la infraestructura hídrica instalada en la cuenca, para respaldar las actividades productivas primarias.

**Descriptores de la reducción del riesgo hídrico**

La reducción del riesgo hídrico (componente RH) se valoró con dos descriptores (Cuadro 2): determinantes tecnológicos (RH-1) y conectividad terrestre (RH-2). En RH-1, las amenazas y oportunidades hídricas identificadas en el componente AH se contrastaron con la infraestructura instalada (AD-3 y AP-4). Para el descriptor RH-2, los datos espaciales vectoriales de carreteras a escala 1:250,000 fueron procesados en SIG para determinar la densidad de caminos al interior de cada cuenca. Las vías terrestres y su estado de mantenimiento advierten sobre la capacidad instalada para asistir a la población ante emergencias hidroclimáticas. La falta de vías pavimentadas y puentes, por ejemplo, agrava la situación de las poblaciones ante episodios de exceso de agua, deslaves e inundaciones; y dificulta el movimiento de camiones cisterna para el abasto de agua en periodos de sequía extrema.

**Integración de descriptores**

Como fue antes señalado, uno de los requisitos deseables en la valoración de la SH es la generación de información significativa para múltiples audiencias, con el fin de facilitar su incorporación en la toma de decisiones y en la acción colectiva. Con este fin, los resultados de todos los descriptores analizados fueron integrados en un relato descriptivo, inmerso en información de contexto, que convierte a la información científica resultante en un insumo más accesible para la gestión de cuencas. El relato fue integrado desde la perspectiva del investigador, con los siguientes elementos: i) la condición presente en la cuenca y subcuencas, ii) las amenazas hídricas, y iii) la incertidumbre (el futuro).

**Resultados**

El análisis de los 16 descriptores para los cuatro componentes de la SH, generó un gran volumen de datos; solamente se muestran los resultados más relevantes para sustentar la valoración de la SH en ambas cuencas. Al final de esta sección se presenta la integración de los descriptores en forma de relato descriptivo con información de contexto, desde la perspectiva del investigador.

**Amenazas Hídricas (AH)**

El descriptor de los rasgos climáticos (AH-1) indicó la ocurrencia de regímenes de precipitación escasa, con precipitaciones medias anuales (Pm) y D.S. de 507.5 (± 139) y de 626.5 (± 168) mm, para las cuencas Juan El Grande y San Pedro Jorullo, respectivamente. La precipitación anual (P) en el año más seco fue de 306 mm (año 2011), y de 220 mm (año 2008), mientras que la condición más húmeda ocurrió en 2008 con 772 mm en la cuenca de Aguascalientes, mientras que en la de Michoacán ocurrió en 1983 con 869 mm. En ambos casos, el patrón de lluvias es estacional, con marcada concentración de precipitaciones entre junio y noviembre, aunque en la cuenca Juan El Grande es ligeramente menos contrastante entre estaciones (Figura 2).

El régimen térmico, en cambio, mostró fuertes diferencias. En la cuenca Juan El Grande la temperatura media mensual histórica (Tm) y su D.S., se ubicaron en 17.0°C (± 1.5), con temperatura máxima media histórica (Tmax) y mínima (Tmin) de 21.8 (± 1.6) y 19°C (± 1.4). En la cuenca San Pedro Jorullo, Tm fue de 28.5°C (± 3.3), con Tmax y Tmin de 35.6 (± 3.8) y 21.3°C (± 2.9). Estas diferencias térmicas se reflejaron en el BH (Figura 3). La evapotranspiración potencial media anual (PETm) en la cuenca Juan El Grande arrojó un valor de 800 mm.año-1, equivalente al 160% de Pm; mientras que en la cuenca San Pedro Jorullo, PETm fue de 2,206 mm.año-1, equivalente al 352% de Pm. Bajo estas condiciones, en la primera cuenca, la humedad del suelo resulta más propicia para la actividad agrícola, con limitados momentos de déficit hídrico del suelo, y una mayor presencia de agua excedente (Figura 3). La cuenca San Pedro Jorullo, por su parte, muestra condiciones de humedad del suelo muy desfavorables para la agricultura, con periodos continuos de sequia estacional bien marcados, y excedencias muy ocasionales. En Juan El Grande, en un año promedio se producen escurrimientos de 62 mm que representan el 12% de Pm, mientras que en San Pedro Jorullo dicho excedente es de 25 mm, equivalente al 4% de Pm.

La distribución de frecuencias de P (descriptor AH-2) mostró que ambas cuencas reciben con mayor frecuencia una precipitación anual que clasifica como año ‘normal-seco’ (Figura 4). La probabilidad de años en el extremo seco fue del 11 y 33% en las cuencas Juan El Grande y San Pedro Jorullo, pero el extremo húmedo mostró frecuencias de 13 y 9%, respectivamente, sin registro de años ‘muy húmedos’ en la cuenca San Pedro Jorullo. La pluviometría de años extremos (descriptor AH-3) mostró que en años ‘muy húmedos’, los incrementos en P llegaron al 52 y 39% de Pm, para las cuencas Juan El Grande y San Pedro Jorullo, respectivamente; mientras que en años ‘muy secos’, la reducción de P fue del 40 y 65% de Pm, respectivamente. En los años húmedos, se incrementa sustancialmente la cantidad de agua en Juan El Grande y sólo de manera moderada en San Pedro Jorullo; en los años más secos, la reducción de P es más moderada en Juan El Grande pero realmente drástica en San Pedro Jorullo.

La respuesta hidrológica a escala de cuenca (descriptor AH-4) se interpretó a partir de los parámetros morfohidrométricos mostrados en el Cuadro 3. La cuenca Juan El Grande es ligeramente ovalada, presenta un relieve suave con baja densidad de drenaje, escasa pendiente en el cauce principal y tiempo rápido de concentración de flujos superficiales. Estos rasgos favorecen las crecidas de agua e inundaciones en la zonas media y baja de la cuenca, en aquellos años ‘húmedos’ cuya probabilidad de ocurrencia es del 13% (Figura 4). Por su parte, la cuenca San Pedro Jorullo es alargada y de relieve fuerte, y densidad de drenaje igualmente baja pero con mayor pendiente del cauce principal, y mayor rapidez en el tiempo de concentración. Los parámetros de esta cuenca favorecerían caudales de altas velocidades, alta energía cinética y capacidad de arrastre cuando ocurren años húmedos o eventos de precipitación abundante. Sin embargo, los años ‘muy húmedos’ estuvieron ausentes en el periodo de 60 años analizado, y la probabilidad de ocurrencia de años ‘húmedos’ (795<P<962 mm) fue solamente del 9%.

El descriptor AH-5 se aplicó a tres sub-cuencas en cada cuenca, en los sectores alto, medio y bajo (Figura 5). En la cuenca Juan El Grande, la subcuenca Las Maravillas ubicada en la sección media, destacó por una morfohidrometría que favorece escurrimientos superficiales de mayor energía cinética que las dos restantes (Cuadro 4). La cuenca San Pedro Jorullo, en cambio, mostró baja variabilidad morfohidrométrica interna, con una respuesta hidrológica de las subcuencas similar a la de la cuenca entera.

**Agua para Uso Doméstico (AD)**

El descriptor AD-1 correspondiente a la condición socio-demográfica, mostró que se trata de cuencas de muy baja densidad poblacional (Dp), en relación a los respectivos promedios estatales. La Dp en Juan El Grande fue en 2010, de 43.5 hab.km-2 (Cuadro 5); ello representa el 19% de la Dp promedio en Aguascalientes (234 hab.km-2). La cuenca San Pedro Jorullo mostró una Dp de 14.5 hab.km-2, equivalente al 18% del promedio estatal de Michoacán (78 hab.km-2). Similarmente, el crecimiento poblacional es muy leve en ambas, con una población proyectada a 2020 de 18,950 y 7,100 habitantes, respectivamente. En la cuenca de Aguascalientes, poco más de la tercera parte de las 92 localidades (33%), mostró niveles bajo y muy bajo de marginación. Sin embargo, la inspección a nivel de subcuenca alerta sobre una alta variabilidad interna en sus atributos socio-demográficos (descriptor AD-2). La subcuenca La Colorada (sector alto) cuenta con muy escasos poblados; la subcuenca Las Maravillas (sector medio) muestra la mayor concentración poblacional, y la subcuenca Encarnación (sector bajo) reportó un alto número de poblados pequeños de alta marginación (Cuadro 5). Para la cuenca San Pedro Jorullo, la condición socio-demográfica general (descriptor AD-1) destacó la presencia de pequeños asentamientos rurales con niveles alto y muy alto de marginación, con ausencia de localidades de marginación baja y muy baja (Figura 5). El descriptor AD-2 mostró que dicha condición general se replica en las tres subcuencas, lo que da cuenta de una variabilidad interna baja.

Las fuentes de agua para uso doméstico y la infraestructura de aprovechamiento (descriptor AD-3) corresponden a dos condiciones claramente diferentes. En la cuenca Juan El Grande, las tres subcuencas se abastecen de aguas subterráneas mediante cinco pozos de entre 80 y 150 m en operación (Cuadro 5). El 89 % de las viviendas cuenta con agua entubada de buena calidad y durante averías o escasez se abastece con camiones cisterna. En la cuenca San Pedro Jorullo, la situación es muy distinta. La subcuenca Los Copales (sector alto) cuenta con áreas de descarga de aguas subterráneas (manantiales), con rendimiento constante, asociados a la estructura geológica del Volcán Jorullo presente en la parte alta de la cuenca; de éstas se abastecen las localidades de dicha subcuenca. Pero en los sectores medio y bajo no hay áreas de descarga y las fuentes se obtienen del agua almacenada transitoriamente en las zonas aluviales, con alta variación estacional. En todos los casos, la infraestructura de captación y aprovechamientos es mínima, cajas de captación precarias y norias de escasa profundidad (5-6 m). No existen pozos profundos en operación. Los sistemas de abasto de agua en las localidades son precarios, y periódicamente sufren daño físico por altas temperaturas que reducen la vida útil de los materiales, así como destrucción de norias y casetas de bombeo por crecidas intempestivas de los arroyos y el deterioro de equipos de bombeo por un inadecuado suministro de energía eléctrica. Los sistemas de abasto de agua comunitarios han sido mejorados lentamente desde el año 2010 con el apoyo de una organización no gubernamental (Grupo Balsas A.C.) y financiamiento privado (Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.) junto a gran esfuerzo de las propias comunidades, pero sin atención gubernamental.

La demanda de agua para uso doméstico (descriptor AD-4) correspondiente a 100 l.persona.día-1, requiere volúmenes de 31, 106 y 200 m3.año-1 para las tres subcuencas de Aguascalientes; mientras que en Michoacán, se requieren apenas 5, 55 y 64 m3.año-1. La satisfacción de esta demanda (descriptor AD-5) presenta dos condiciones contrastantes. En la cuenca de Aguascalientes dichos volúmenes están garantizados desde pozos profundos para uso doméstico, con extracción reportada de 481 m3.año-1, lo que resulta en una satisfacción hídrica ‘suficiente’ en, al menos, dos de las tres cuencas (Cuadro 5). En la subcuenca Encarnación, la satisfacción resultó ‘sub-óptima’ porque apenas se rebasan los 50 l.persona.día-1. La estimación de crecimiento poblacional al año 2020 muestra que la subcuenca La Colorada se mantendrá con satisfacción hídrica óptima, pero no es el caso de las subcuencas Las Maravillas y Encarnación verán mermado sus niveles actuales. En Michoacán, la situación es distinta. La variabilidad espacial y temporal en la disponibilidad de agua es alta y no hay fuentes de abasto constante. El volumen de agua que se puede obtener de una noria abarca entre 500 l.día-1 en época de secas a 5,000 l.día-1 en lluvias. El área de descarga (manantiales) en la subcuenca Los Copales ofrece volúmenes de agua suficientes que no logran ser bien administrados por la falta de infraestructura para el almacenamiento y distribución eficiente. La larga estación seca y la falta de pozos revela que, a escala anual, la satisfacción hídrica potencial es insuficiente para dos de las tres subcuencas consideradas (Cuadro 5).

**Agua para Actividades Productivas (AP)**

Para el año 2011, la cubierta y uso del suelo (descriptor AP-1) mostraron actividades productivas diferenciadas en ambas cuencas (Cuadro 6). La cuenca Juan El Grande está transformada en más del 95% de su superficie, con un remanente de bosque y matorral localizado en su sección media donde el relieve es más quebrado. La principal actividad productiva era en dicho año, la agricultura de temporal pero con una participación importante de agricultura de riego en más del 20% de la superficie. Los cultivos dominantes son en orden de importancia, el maíz, frijol, avena y alfalfa forrajera. La actividad ganadera es sostenida por pastizales que cubrían en 2011, poco más del 20% de la superficie total, además de los cultivos forrajeros. Las existencias ganaderas en 2011 eran de 18,880 cabezas, que equivale al 70% de lo reportado para el municipio de El Llano (censo agropecuario, INEGI, 2009). De estas, 48% correspondían a ganado bovino, y las restantes a ganado ovino (26%), caprino (13%) y porcino. El descriptor AP-2 reveló que en el periodo 2002-2011 hubo un incremento cercano al 4% de la superficie destinada a agricultura de riego, a expensas de los pastizales y matorrales. En esta cuenca las actividades productivas son sostenidas y diversificadas, con incremento del nivel tecnológico, y consecuentemente, de los rendimientos agropecuarios.

En la cuenca San Pedro Jorullo, la cubierta del suelo para el año 2011 (descriptor AP-1) mostró que solamente el 30.5% de su superficie correspondía con actividades agropecuarias, sin presencia de agricultura bajo riego (Cuadro 6). La agricultura de temporal que cubría en 2011 el 21% de la cuenca, se concentra en maíz, flor de jamaica, ajonjolí y sorgo. La cubierta de vegetación natural abarca el 55.1% de la superficie con dominancia de selva baja caducifolia; esta sostiene la cría extensiva de ganado vacuno con bajo nivel de tecnificación y rendimientos. Para ese año, las existencias ganaderas alcanzaron las 3,520 cabezas lo que equivale al 10.3% de lo reportado para el municipio de La Huacana (censo agropecuario, INEGI, 2009), de las cuales el 60% correspondía con ganado bovino, y lo restante con caprino (19%), porcino (13%) y ovino (6%). El cambio de cubierta entre 2002 – 2011 (descriptor AP-2) mostró un incremento de selvas y bosques a expensas de la cubierta de pastizal, lo que señala el abandono de la ganadería más tecnificada. La superficie de agricultura de temporal mostró un incremento del 9% en dicho periodo, pero su representación en la superficie de toda cuenca es menor al 2%.

El descriptor AP-3 referido a la correspondencia agroclimática de las actividades primarias, reveló que en la cuenca Juan El Grande los principales cultivos están continuamente amenazados por la escasez de precipitaciones. Los rangos de lluvias óptimos para el maíz y frijol son de 500-1,100 mm y 600-2,000 mm, respectivamente; estos volúmenes se presentan en años 'húmedos' y 'muy húmedos' de baja ocurrencia (Figura 4). Aun así, los años más favorables proporcionarían lluvias cercanas al límite inferior del rango óptimo de los cultivos, asociado a bajos rendimientos agrícolas. La alfalfa, un cultivo en expansión, requiere lluvias de entre 880-1,000 mm, una condición inexistente en esta cuenca. Dada esta situación, los cultivos se realizan con un alto riesgo de siniestro agrícola, o son completamente dependientes del riego. La producción de forrajes ocurre en praderas inducidas complementadas con cultivos forrajeros que son sostenidos por riego. En la cuenca San Pedro Jorullo los requerimientos hídricos son de 600-900 mm para la flor de jamaica, 500-1,200 mm para el ajonjolí y 450-650 mm para el sorgo, por lo que tienen una mayor correspondencia con las condiciones promedio de precipitación anual. Sin embargo, debido a la alta incidencia de años secos debajo del promedio, la incertidumbre en la viabilidad de la cosecha y los rendimientos finales es muy alta. Las altas temperaturas y escasez de agua provocan altos niveles de deshidratación en el ganado, particularmente en época seca, lo que reduce sustancialmente la fertilidad, provocando hatos de baja productividad de crías y leche.

La infraestructura para sostener las actividades productivas (descriptor AP-4) evidencia que la atención histórica para dar soporte a las actividades productivas ha sido francamente diferente en los estados de Aguascalientes y Michoacán. La cuenca Juan El Grande cuenta con el bordo de Santa Ana ubicado en la subcuenca La Colorada construido en la década de 1980, con capacidad de almacenamiento de 6 millones de m3, además de 676 bordos distribuidos en toda la cuenca; que almacenan los escurrimientos ligeros de la estación de lluvias y soportan el abasto de agua de las especies de ganado mayor. La suficiencia de agua en las viviendas permite el mantenimiento de ganado menor en los traspatios. La cuenca cuenta con 6,461 ha bajo riego sostenidos por la presencia de 49 pozos profundos destinados al uso agrícola con extracción de más de 3,200,000 m3 año-1. Las subcuencas Las Maravillas y Encarnación disponen de varios kilómetros de canales y acequias. En cambio, la cuenca San Pedro Jorullo no cuenta con infraestructura mas allá de unos pocos bordos que reciben altas cantidades de azolve y sufren recurrentes daño por la velocidad del agua entrante. El ganado mayor requiere volúmenes de agua del orden de los 42,000 m3 año-1 que no logran estar disponibles, especialmente en la larga estación seca. Debido a la escasez de agua en las viviendas, los corrales para animales de traspatio son poco comunes. De acuerdo a testimonios locales, a lo largo de la cuenca son insuficientes las aguadas y los abrevaderos para el ganado, con fuertes dificultades para mantenerlos con agua durante la estación seca.

**Reducción del Riesgo Hídrico (RH)**

La capacidad para reducir el riesgo hídrico por infraestructura civil e hidráulica (RH-1) mostró dos condiciones diferenciadas. Ciertamente ambas cuencas presentan déficit hídrico una gran parte del año y sus escurrimientos superficiales son escasos (descriptor AH-1, Figura 3). Pero, en la cuenca Juan El Grande, en un año promedio, el BH proporciona 62 mm de agua excedente, lo que representa 21 millones m3 de agua en circulación; este excedente es almacenado en el bordo de Santa Ana y las obras de captación y almacenamiento ubicadas en toda la cuenca. Las obras de captación están favorecidas por el relieve suave de la cuenca que propicia escurrimientos lentos de bajo poder destructivo. Dado que la demanda evaporativa es relativamente baja, el agua permanece almacenada hasta cinco meses desde el fin de la estación de lluvias (Figura 2). Adicionalmente, los pozos profundos en operación respaldan el abasto de agua para uso público y agrícola, aun bajo condiciones extremas en años secos. Por su parte, en la cuenca San Pedro Jorullo, los excedentes en un año promedio son de 25 mm, equivalente a 11.5 millones de m3. El relieve montañoso de la cuenca genera escurrimientos rápidos de alta energía cinética, y la alta demanda evaporativa reduce drásticamente el tiempo de permanencia del agua que logra ser almacenada. La cuenca no cuenta con infraestructura adecuada para retener agua más allá de pequeñas ollas en las que la permanencia es muy corta y no se extiende más allá de dos meses desde el fin de las lluvias.

Respecto a la conectividad terrestre (descriptor RH-2), la cuenca Juan El Grande cuenta con 623.8 km de carreteras y caminos rurales, con una densidad de vías de 1.8 km.km2 (Figura 5). El relieve predominantemente plano y las distancias relativamente cortas entre localidades facilitan el traslado, aún en momentos de caudales mayores en años del extremo húmedo. La cuenca San Pedro Jorullo cuenta con carreteras y caminos rurales con una longitud de 221.9 km, lo que representa una densidad de vías de 0.5 km.km2. Las vías terrestres son de terracería o pavimento en mal estado, vados precarios y falta de puentes. En los meses de mayores precipitaciones, es frecuente la crecida repentina de caudales, lo que produce aislamiento de las poblaciones y arrastre de vehículos que se arriesgan al cruce de vados.

**Integración de descriptores**

Los relatos descriptivos presentados a continuación integran los resultados obtenidos con información de contexto, en lenguaje técnicamente preciso pero accesible a actores sociales no-académicos.

**Cuenca Juan El Grande: ¿en la opulencia del agua?** El Estado de Aguascalientes es uno de los más ricos de México. Es pequeño en extensión y población, y tiene recursos naturales limitados, pero ha logrado promover su desarrollo y ubicarse en una excelente posición a nivel nacional. La cuenca Juan El Grande en el Municipio de El Llano, es parte de esa condición de bienestar. Aunque el clima presenta lluvias escasas, que en algunos años producen sequias, el relieve es plano y apto para la agricultura. Por ello la cuenca es altamente productiva, con una gran superficie de tierras utilizadas para cultivos y cría de ganado, pero con escasa superficie conservada con vegetación natural. Su alta productividad se debe a una importante cantidad de infraestructura como bordos, canales de riego y pozos profundos, así como la distribución de carreteras transitables en toda la cuenca. Debido a las temperaturas relativamente bajas, el agua de lluvia almacenada está disponible gran parte del año, y además es complementada por agua extraída del subsuelo.

La población de la cuenca manifiesta una alta satisfacción hídrica, dado que raramente se observan carencias importantes de agua. El agua en las localidades está asegurada, pues depende de un servicio concesionado por el municipio a un organismo operador. La población paga una cuota mensual sin importar el volumen utilizado. Las personas no se cuestionan sobre el origen de dicho bienestar, lo que las vuelve ciegas ante las amenazas. Pero la cuenca sí presenta amenazas. La sección media denominada Las Maravillas, concentra la mayor cantidad de habitantes y muestra el mayor crecimiento poblacional: ello advierte sobre acciones necesarias para mantener en el futuro la satisfacción hídrica que se disfruta en el presente. En la parte baja de la cuenca, nombrada Encarnación, se ubican las localidades rurales con mayor marginación social, donde también hay menor extracción de agua. Es el sector de la cuenca más vulnerable ante sequias o lluvias extremas.

Si bien la infraestructura disponible asegura el abasto continuo desde fuentes subterráneas, también le confiere una alta dependencia del equipamiento de bombeo y del mantenimiento de los niveles de agua de los acuíferos. Pero la percepción de opulencia de agua, impide que los pobladores locales valoren el agua subterránea como un bien de propiedad común; más bien lo perciben como algo dado, que estará ahí por siempre. Por ejemplo, en el sector Las Maravillas se registran valores excesivamente altos en la extracción de agua para uso humano, los cuales superan por lejos el volumen de satisfacción óptima de 100 l.persona.día-1.

Otras características de la cuenca contrastan con esa percepción de alta seguridad hídrica. El siniestro agrícola por sequías es altamente frecuente, pero se persiste en el mismo modelo de producción agrícola con cultivos inapropiados, dependientes del riego, sin desarrollar esquemas alternativos de mayor eficiencia hídrica. Aunque no se presentan sequias extremas muy frecuentes, las lluvias anuales son con frecuencia inferiores al promedio. Sin embargo, los pobladores no promueven acciones en mejorar sus sistemas de producción. La incertidumbre climática es alta, pero faltan mecanismos de adaptación tecnológica, y canales para la organización de instituciones. De igual forma, no se cuenta con registros confiables del volumen de agua extraída de pozos ni de su calidad, por lo que no se conoce la condición de los acuíferos y los efectos de la extracción. En resumen, la cuenca Juan El Grande muestra un *nivel sub-óptimo* de SH que puede transitar a una condición de insuficiencia si no se atienden los focos rojos identificados. Para mantener su nivel de SH, los pobladores de la cuenca deberían hacer un uso más eficiente de sus recursos hídricos, con actividades agropecuarias acordes a su situación climática; gestionar de mejor manera su infraestructura hidráulica; y establecer redes de cooperación. Ello daría mayores capacidades para atender las amenazas, y crear respuestas para un mejor manejo de los recursos hídricos disponibles.

**Cuenca San Pedro Jorullo: la incertidumbre del agua, día a día.** El Estado de Michoacán enfrenta verdaderos retos para atender las necesidades de su población. A pesar de contar con innumerables recursos naturales y culturales, desde el año 2000 en adelante, la situación general dentro de este estado ha empeorado. Ello se ha reflejado en mayores niveles de marginación en relación al resto del país, mayor inseguridad, emigración y falta de capacidad financiera para gestionar los problemas. La Cuenca San Pedro Jorullo en el Municipio La Huacana está envuelta en este panorama. Su clima es cálido con lluvias acotadas a cuatro meses, y en los siete meses de estación seca la vida cotidiana y las actividades productivas se hacen realmente difíciles. Las condiciones de relieve y las características sociales son similares en toda su extensión, de modo que conforma una unidad relativamente homogénea. El agua para el consumo doméstico proviene de fuentes precarias y de bajo rendimiento, como norias y manantiales; de modo que los años con lluvias escasas auguran estaciones secas de gran sufrimiento para la población, con pérdida de patrimonio familiar. La cuenca cuenta con una pequeña superficie productiva utilizada para cultivos de temporal que son apropiados para las condiciones climáticas. Las parcelas son también el soporte, junto con vegetación nativa y transformada, de pequeños hatos ganaderos que son manejados de forma extensiva sin mayor tecnología. La cuenca cuenta con una gran superficie de selva baja caducifolia, con alta biodiversidad, endemismos, y adaptaciones a los contrastes estacionales. La mayor amenaza sentida por la población es la alta probabilidad de lluvias por debajo del promedio, y de años excepcionalmente secos; esto repercute en los medios de vida y las diversas actividades productivas agropecuarias. La población vive en condiciones duras, con verdaderas dificultades para el incremento del patrimonio familiar, y una alta vulnerabilidad ante enfrentar emergencias hídricas. El paisaje montañoso y las pendientes dificultan el manejo de los escurrimientos cuando estos ocurren en época de lluvias. Cualquier inversión en infraestructura es costosa. El aislamiento geográfico y el nulo apoyo de las instituciones gubernamentales que frecuentemente dejan obras inconclusas, hacen que los pobladores de esta cuenca vivan pendientes de las condiciones climáticas que condicionarán sus vidas.

La línea base en la cuenca San Pedro Jorullo muestra un *nivel muy bajo* de SH y una marcada precariedad para asegurar la disponibilidad de agua para la población y las actividades productivas, así como una baja capacidad instalada para sobrellevar el riesgo hídrico, por lo que está fuertemente comprometido su desarrollo sostenible. La escasa atención gubernamental ha enseñado a los habitantes que la principal fuente de soluciones a los problemas de SH son las fuerzas autogestivas. El apoyo de actores externos no-gubernamentales (academia, ONGs) y el mantenimiento de redes de solidaridad dentro de la cuenca son la primera línea para enfrentar las amenazas e incertidumbres a los que la cuenca está expuesta.

**Discusión y Conclusiones**

La valoración de la SH basada en el enfoque de cuenca y el uso de descriptores, junto con la integración de un relato descriptivo inmerso en el contexto, pusieron en evidencia los desafíos diferenciados en la gestión de cada cuenca. En el caso de la cuenca Juan El Grande (Aguascalientes), la alta dependencia de la infraestructura hidráulica para mantener el agua para la población y las actividades productivas, ha derivado en la falta de valoración de los recursos hídricos por la población local, y a la sensación continua de recursos hídricos suficientes (Sophocleous, 2004). Por ello la infraestructura disponible representa al mismo tiempo una herramienta de adaptación y una amenaza para la SH local (Scott et al*.,* 2013). Los principales retos son de carácter institucional y socio-cultural para asegurar la buena gestión de la infraestructura, y el uso eficiente de recursos disponibles. Por su parte, la condición de la cuenca San Pedro Jorullo (Michoacán) muestra fuertes similitudes con áreas semiáridas de África (Calow, MacDonald, Nicol & Robins, 2010). Bajo estas condiciones, los medios de vida rurales se ven afectados por el estrés hídrico continuo y sus efectos en la seguridad alimentaria. En este caso, los retos abarcan la creación de infraestructura adecuada, principalmente con ecotecnias, el combate a la pobreza, la auto-organización comunitaria y la cultura del agua.

La aplicación a los estudios de caso permitió revisar las ventajas del enfoque de cuenca basado en descriptores frente a los indicadores e índices para valorar la SH. El trabajo ilustró de qué modo este abordaje propicia una valoración funcional del espacio geográfico, así como la lectura de los elementos geográficos de la cuenca y de los determinantes de la SH, tal como se ha sugerido en otros estudios (Sun, Staddon & Chen, 2016). La cuenca facilita el cambio de escala en la apreciación del problema, así como el tránsito del análisis funcional al espacial, una necesidad ya señalada para mejorar la valoración de SH (Jun & Yongyong 2008; Cohen & Davidson 2011; Garrick & Hall 2014). El procedimiento aplicado se enfocó en las dimensiones básicas de SH, e.g. la disponibilidad de agua y la reducción del riesgo hídrico; pero otras dimensiones de la SH como la gobernanza del agua, la resolución de conflictos, preservación de los ecosistemas y la vida silvestre (Vörösmarty et al., 2010; Cook & Bakker, 2012; Norman et al., 2013), quedaron fuera de los alcances de este estudio. Sin embargo, el enfoque propuesto permite incorporar fácilmente otras dimensiones de SH mediante la cuidadosa selección de sus descriptores, sin alterar ni perder la capacidad informativa de los ya analizados. La valoración puede ganar solidez a medida que se genera información más detallada, logrando una valoración flexible y dinámica. Por último, la elaboración de un relato descriptivo a partir de la integración de los resultados de los descriptores con información de contexto, es un punto de partida de gran potencial para integrar narrativas ambientales. Estas son historias que se alimentan de datos, observaciones, entrevistas y otra información cualitativa de sujetos estrechamente asociados a un lugar particular, que crean significados desde hechos aislados para relatar lo que ocurrió y lo que podría ocurrir, e.g. escenarios posibles (Leach, Scoones & Stirling, 2010; Lejano, Ingram & Ingram, 2013). La integración de descriptores en relatos descriptivos, y su ampliación con otras voces en narrativas ambientales es un campo de trabajo a futuro para mejorar la generación de insumos más adecuados para la acción colectiva y la toma de decisiones en la gestión de cuencas.

**Agradecimientos:**al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para este proyecto, a Grupo Balsas para Estudio y Manejo de Ecosistemas A.C. por asistencia en campo e información sobre la cuenca San Pedro Jorullo. La revisión por pares y la labor editorial permitió mejorar la calidad del manuscrito original.

**Referencias**

Aranda, D. F. C. (1984). Procesos del ciclo hidrológico. Universidad Autónoma de San Luís Potosí.

Bermúdez, F. L., & Díaz, M. A. R. (1987). Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir. *Papeles de Geografía* *(12)*, 47–62.

Burgos, A., Páez, R., Carmona, E., & Rivas, H. (2013). A systems approach to modeling Community-Based Environmental Monitoring: a case of participatory water quality monitoring in rural Mexico. *Environmental monitoring and assessment* *185(12),* 10297–10316.

Burgos, A. & Bocco, G. (2015). La cuenca hidrográfica como espacio geográfico, en Dimensiones Sociales en el Manejo de Cuencas, Burgos, A., G. Bocco y J. Sosa-Ramírez (coord.) pp. 11–29. México: CIGA-UNAM.

Calow, R. C., MacDonald, A. M., Nicol, A. L., & Robins, N. S. (2010). Ground water security and drought in Africa: linking availability, access, and demand. *Ground Water* *48(2),* 246–256.

Cohen, A., & Davidson, S. (2011). The watershed approach: Challenges, antecedents, and the transition from technical tool to governance unit. *Water Alternatives* *4(1),* 1–14.

Conagua. (2013). Eric III Versión 3.2. Estaciones climatológicas de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Conapo. (2010). Índice de marginación para 2010 del Consejo Nacional de Población. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice\_de\_Marginacion\_por\_Localidad\_2010

Cook, B. R., Atkinson, M., Chalmers, H., Comins, L., Cooksley, S., Deans, N., & Litke, S. (2013). Interrogating participatory catchment organisations: Cases from Canada, New Zealand, Scotland and the Scottish-English Borderlands. *The Geographical Journal 179(3),* 234–247.

Cook, C., & Bakker, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change* *22(2012),* 94–102.

Dickson, S.E., Schuster-Wallace, C.J. & Newton, J.J. (2016). Water security assessment indicators: The rural context. *Water**resources management* *30(5),* 1567–1604.

Ding, Y., Wei, Y., Dai, H., & Tang, D. (2014). Human-Water harmony index: A new approach to assess the human water relationship. *Water Resources Management*  *28(4)*, 1061–1077.

Fernández, D., Martínez, M., Tavarez, C., Castillo, R., & Salas, R. (2012). Estimación de las demandas de consumo de agua. SAGARPA, Colegio de posgraduados, México.

Garfin, G. M., Scott, C. A., Wilder, M., Varady, R. G., & Merideth, R. (2016). Metrics for assessing adaptive capacity and water security: common challenges, diverging contexts, emerging consensus. *Current Opinion in Environmental Sustainability* *(21),* 86–89.

Garrick, D., & Hall, J. W. (2014). Water security and society: risks, metrics, and pathways. *Annual Review of Environment and Resources* *39(1),* 611–639.

Gaspari F. J. (2007). Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas de información geográfica. Huelva. España. Ediciones Cooperativas, Buenos Aires.

Gerlak, A. K., House-Peters, L., Varady, R. G., Albrecht, T., Zúñiga-Terán, A., de Grenade, R. R., Cook, C. & Scott, C. A. (2018). Water security: A review of place-based research. *Environmental Science and Policy (82),* 79–89.

Gleick, P. H. (1996). Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International 21(2)*, 83–92.

Grey, D., & Sadoff, C. (2007). Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy 9(6),* 545–571.

Heink, U., & Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators 10(3)*, 584-593.

Howard, G., & Bartram, J. K. (2003). Domestic water quantity, service level, and health. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

INEGI. (2002). Mapas de uso del suelo y vegetación. Recuperado de http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/

INEGI. (2009). Censo agropecuario 2007, VIII Censo agrícola, ganadero y forestal, México.

INEGI. (2010). Censo de población y vivienda, México.

Jun, X., & Yongyong, Z. 2008. Water security in north China and countermeasure to climate change and human activity. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 33 (5),* 359–363.

Keirle, R., & Hayes, C. (2007). A review of catchment management in the new context of drinking water safety plans. *Water and Environment Journal 21(3),* 208–216.

Kershner, J. L., Roper, B. B., Bouwes, N., Henderson, R., & Archer, E. (2004). An analysis of stream habitat conditions in reference and managed watersheds on some federal lands within the Columbia River basin. *North American Journal of Fisheries Management 24(4),* 1363-1375.

Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil engineering, 10(6),* 362.

Knighton, D. (1998). Fluvial forms and processes: London. Edward Arnol

Lemos, M. C., Manuel-Navarrete, D., Willems, B. L., Caravantes, R. D., & Varady, R. G. (2016). Advancing metrics: models for understanding adaptive capacity and water security. *Current Opinion in Environmental Sustainability (21),* 52–57.

Leach, M., Scoones, I., & Stirling, A. (2010). Governing epidemics in an age of complexity: narratives, politics and pathways to sustainability. *Global Environmental Change 20(3),* 369-377.

Lejano, R., Ingram, M., & Ingram, H. (2013). The power of narrative in environmental networks. MIT Press.

López C. L. (1998). Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental. Editorial Mundi Prensa, Madrid, España: 945 p

Martínez-Austria, P. F. (2013). Los retos de la seguridad hídrica. *Tecnología y Ciencias del Agua, 4(5),* 165-180.

Mason, N., & Calow, R. (2012). Water security: from abstract concept to meaningful metrics. An Initial Overview of Options (Overseas Development Institute London).

McCabe, G.J., & Markstrom, S.L. (2007). A monthly water-balance model driven by a graphical user interface: U.S. Geological Survey Open-File report. Recuperado de https://pubs.usgs.gov/of/2007/1088.

Norman, E., Dunn, S., Bakker, G., Allen, K. & De Albuquerque, R. C. (2013). Water security assessment: integrating governance and freshwater indicators. *Water Resources Management 27(2),* 535-551.

Pahl-Wostl, C., Palmer, M., & Richards, K. (2013). Enhancing water security for the benefits of humans and nature-the role of governance. *Current Opinion in Environmental Sustainability 5(6),* 676-684.

Parra, C., & Zorrilla, E. (2007). Gestión de cuencas hidrológicas. Universidad Nacional del Centro del Perú.

Peña, H. (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. *Serie recursos naturales e infraestructura 178, CEPAL.* p. 57.

Pérez-Foguet, A., & Garriga, R. G. (2011). Analyzing water poverty in basins. *Water Resources Management 25(14),* 3595–3612.

Prohaska, F. J. (1952). Regímenes estacionales de la precipitación de Sudamérica y mares vecinos (desde 15 S hasta Antártida). *Revista Meteoros 11(1),* 66–100.

Ruiz C., Medina G., González, A., Flores, L., Ramírez, O., Ortiz, T., Byerly, M. & Martínez P. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Jalisco, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

Schumm, S. (1956). The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboi, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin, 67(5),* 597-646.

Scott, C. A., Meza, F. J., Varady, R. G., Tiessen, H., McEvoy, J., Garfin, G. M., & Montaña, E. (2013). Water Security and Adaptive Management in the Arid Americas. *Annals of the Association of American Geographers, 103(2),* 280–289.

Silva, L. I., Sergio, G. C., & Luis, R. P. (2010). Panorama del desarrollo territorial en América Latina y el Caribe. CEPAL.

Sophocleous, M. (2004). Global and regional water availability and demand: prospects for the future. *Natural Resources Research 13(2),* 61–75.

Sosa Ramírez J., A de J. Meráz Jiménez, V. Díaz Nuñez, A. Ponce Montoya & J.L. Galarza. (2011). La Actividad ganadera en un sistema agrosilvopastoril en región árida: el ejido la luz, Aguascalientes. México, en La encrucijada del México rural. Contrastes regionales en un mundo desigual Sánchez M.J. (coord): pp 277-307. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Srinivasan, V., Konar, M., & Sivapalan, M. (2017). A dynamic framework for water security. *Water Security (1),* 12–20.

Strahler, A. N. (1964). Part II. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. Handbook of Applied Hydrology: McGraw-Hill, New York, 4-39.

Sullivan, C. A. (2002). Calculating a water poverty index. *World Development 30(7),* 1195–1210.

Sullivan, C. A., & Meigh, J. R. (2007). Integration of the biophysical and social sciences using an indicator approach: Addressing water problems at different scales. *Water Resources Management 21(1),* 111–128.

Sun, F., Staddon, C., & Chen, M. (2016). Developing and applying water security metrics in China: experience and challenges. *Current Opinion in Environmental Sustainability (21),* 29–36.

UNWater. (2013). Water security y the global water agenda. a UN-Water analytical brief. Hamilton, ON: UN University.

Varady, R. G., Zuniga-Teran, A. A., Garfin, G. M., Martín, F., & Vicuña, S. (2016). Adaptive management and water security in a global context: definitions, concepts, and examples. *Current Opinion in Environmental Sustainability (21),* 70–77.

Varis, O., Keskinen, M., & Kummu, M. (2017). Four dimensions of water security with a case of the indirect role of water in global food security. *Water Security (1),* 36–45.

Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. *Science 289(5477),* 284–288.

Vörösmarty, C. J., Guenni, L. B. De, Wollheim, W. M., Bjerklie, D., Cardoso, M., Almeida, C. D., & Pellerin, B. (2013). Extreme rainfall , vulnerability and risk : a continental-scale assessment for South America. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. A 371(2002),* 1-17.

Warner, J., Wester, P., & Bolding, A. (2008). Going with the flow: river basins as the natural units for water management. *Water Policy 10(2),* 121–138.

Wilder, M. (2016). Metrics: moving beyond the adaptation information gap — introduction to the special issue. *Current Opinion in Environmental Sustainability (21),* 90–95.

WHO-UNICEF. (2010). Geneva: World Health Organization. Progress on sanitation and drinking-water-2010 update.

Xiao, S. C., Li, J. X., Xiao, H. L., & Liu, F. M. (2008). Comprehensive assessment of water security for inland watersheds in the Hexi Corridor, Northwest China. *Environmental geology 55(2),* 369-376.

Zeitoun, M., Lankford, B., Krueger, T., Forsyth, T., Carter, R., Hoekstra, A. Y., Richard Taylor, R., Varis, O., Cleaver, F., Boelens, R., Swatuk, L., Tickner, D., Scott, C. A., Mirumachi, N. & Matthew, N. (2016). Reductionist and integrative research approaches to complex water security policy challenges. *Global Environmental Change (39),* 143–154.

Zimmerman J. (2016). What Are Descriptors Good For?. In: Python Descriptors. Apress, Berkeley, CA

PIE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las cuencas de estudio en el Centro-Occidente de México.

Figura 2. Climatograma de las cuencas Juan El Grande (CJG) y San Pedro Jorullo (CSPJ). Precipitación media mensual (P; eje izquierdo) y Temperatura media mensual (T; eje derecho).

Figura 3. Balance hídrico climático para la cuenca Juan El Grande, y San Pedro Jorullo. Precipitación (P), evapotranspiración potencial (PET), humedad del suelo (soil moisture) y excedente (surplus). Fuente: normales climáticas (CONAGUA) y modelo del USGS empleando Thornthwaite y Mather (1959).

Figura 4. Clasificación de la precipitación anual (P) para las series históricas en la cuenca Juan El Grande (1940-2010) y en la cuenca San Pedro Jorullo (1960 – 2010).

Figura 5. Subcuencas seleccionadas en la sección alta, media y baja de las cuencas Juan El Grande en Aguascalientes (izquierda) y San Pedro Jorullo en Michoacán (derecha).

Cuadro 1. Características generales de las cuencas de estudio en la región Centro-Occidente de México.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Atributo | Cuenca Juan El Grande  (Aguascalientes) | Cuenca San Pedro Jorullo  (Michoacán) |
| Municipios abarcados | El Llano, Asientos, Lagos de Moreno y Ojuelos | La Huacana y Ario de Rosales |
| Superficie (km2) | 342.8 | 459.7 |
| Población total en 2010 (hab) | 15,535 | 6,682 |
| Densidad de población (hab.km2) | 45.3 | 14.5 |
| Tasa de crecimiento poblacional (2000 - 2010) | 0.02 | 0.006 |
| # de asentamientos rurales (< 5000 hab.) | 91 | 55 |
| # de asentamientos urbanos (> 5000 hab.) | 1 | 0 |
| Promedio del Índice de Marginación para las localidades dentro de la cuenca (adimensional) | -0.8 | 0.4 |
| Rango del Índice de Marginación | 0.5 a -1.6 | 1.7 a -0.8 |
| Tenencia de la tierra (%)  Ejidal:  Federal:  Privada: | 90  0  10 | 95  5  0 |
| Actividades productivas predominantes | agricultura temporal, bajo riego y ganadería extensiva | agricultura temporal y ganadería extensiva |

Cuadro 2. Componentes y descriptores para la valoración de la seguridad hídrica con enfoque de cuenca hidrográfica

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Componente | Clave | Escala | Descriptor | Técnica analítica / Fuente de información |
| Amenazas hídricas (AH) | AH-1  AH-2  AH-3  AH-4  AH-5 | cuenca  cuenca  cuenca  cuenca  sub-cuenca | * Rasgos climáticos * Frecuencia de años extremos * Rasgos pluviométricos de años extremos * Respuesta hidrológica general * Variabilidad interna de la respuesta hidrológica | * Climatograma y Balance Hídrico con Modelo USGS * Distribución de frecuencias de precipitación total anual, clasificación de Prohaska * Análisis pluviométrico de años extremos * Parámetros morfohidrométricos básicos * Parámetros morfohidrométricos en subcuencas seleccionadas |
| Agua disponible para uso doméstico  (AD) | AD-1  AD-2  AD-3  AD-4  AD-5 | cuenca  subcuenca  subcuenca  subcuenca  subcuenca | * Condición socio-demográfica * Variabilidad interna en la condición socio-demográfica * Fuentes de agua y aprovechamiento * Demanda doméstica de agua * Satisfacción hídrica actual | * Densidad de población, distribución de asentamientos, marginación por localidad, cambios demográficos * Idem AD-1 para sub-cuencas seleccionadas * Tipo y cantidad de fuentes de agua, condición de la infraestructura de aprovechamiento * Población actual y futura; volumen de abasto óptimo * Nivel de abasto, población conectada a agua entubada, testimonios locales |
| Agua para actividades productivas  (AP) | AP-1  AP-2  AP-3  AP-4 | subcuenca  cuenca  cuenca  subcuenca | * Tipo de actividades productivas primarias * Tendencias en las actividades productivas primarias * Adecuación agroclimática * Infraestructura hídrica para la producción | * Datos espaciales de cubierta del suelo actuales, estadísticas oficiales de producción agropecuaria, información sobre sistemas de producción local * Cambios de cubierta/uso del suelo 2002-2011 * Demanda hídrica por tipo de cultivo y tipo de ganado * Inventario de infraestructura disponible para la producción agrícola y pecuaria |
| Reducción del riesgo hídrico  (RH) | RH-1  RH-2 | cuenca  cuenca | * Reducción por infraestructura * Conectividad terrestre | * Contraste ente amenazas hídricas e infraestructura civil e hidráulica presente * Tipo de red vial, densidad de vías terrestres |

Cuadro 3. Parámetros morfométricos de las cuencas de estudio.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Atributo | | Cuenca  Juan El Grande | Cuenca  San Pedro Jorullo | Valores de referencia y fuente |
| Parámetros de forma | Área (km2)  Tamaño | 342.8  Intermedio-pequeño | 459.7  Intermedio-pequeño | Superficie intermedia- pequeña: 250-500 km2 (Aranda, 1984) |
| Perímetro (km) | 99.3 | 159.8 | No aplica |
| Razón de elongación  Forma | 0.64  Ligeramente ovalada | 0.42  Ligeramente  alargada | Varía entre 0 y 1. Si X <0.5 es alargada, si X >0.5 es ovalada (Schumm, 1956) |
| Parámetros de relieve | Altitudes extremas (m.s.n.m.)  Rango de elevación (m)  Grado del relieve | 1,978 / 2,350  380  Moderado-suave | 160 / 1,836  1,676  Fuerte | Suave: < 200, Moderado: 200-1000, Fuerte: >1000 (Parra & Zorrilla, 2007) |
| Parámetros de drenaje | Longitud del cauce principal (km)  Extensión | 32.9  Largo | 57.8  Largo | Corto: < 10, Medio: 11 a 15, Largo: >15 (Parra & Zorrilla, 2007) |
| Pendiente del cauce principal (%)  Grado | 1.2  Suave | 2.8  Suave | Suave: < 10, Moderada: 10 a 30, Fuerte: 30 (Gaspari, 2007) |
| Tiempo de concentración (hr)  Rapidez | 6.2  Rápido | 6.0  Rápido | Rápido: < 40, Moderado: 40-80, Lento: >80 (Kirpich, 1940) |
| Densidad de drenaje (km.km-2) | 1.8  Baja | 2.0  Baja | Baja: < 5, Moderada: 5-10, Alta: >10 (López, 1998) |
| Orden de corriente | 6  Alto | 5  Medio | Bajo: < 2, Medio: 3-5, Alto > 5 (Stralher, 1964) |

Cuadro 4. Parámetros morfométricos de las subcuencas de estudio.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Atributos morfohidrométricos | Cuenca Juan El Grande | | | Cuenca San Pedro Jorullo | | |
| La Colorada | Las Maravillas | Encarnación | Copales | El Algodón | Hacienda Vieja |
| Sector de la cuenca | alto | medio | bajo | alto | medio | bajo |
| *Parámetros de forma* | |  |  |  |  |  |
| Área (km2) | 27 | 32 | 68 | 87 | 62 | 91 |
| Perímetro (km) | 24 | 29 | 50 | 47 | 41 | 45 |
| Razón de elongación | 0.8 | 0.4 | 0.8 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
| *Parámetros de relieve* | |  |  |  |  |  |
| Rango altitudinal (m.s.n.m) | 2049 / 2024 | 2358 / 2006 | 1992 / 1978 | 1896 / 457 | 1240 / 261 | 261 / 160 |
| Rango de elevación (metros) | 25 | 352 | 14 | 1,439 | 963 | 101 |
| *Parámetros de drenaje* | |  |  |  |  |  |
| Longitud cauce principal (km) | 7.5 | 14.8 | 11 | 24 | 18 | 16.5 |
| Pendiente del cauce principal (%) | 0.3 | 2.4 | 0.3 | 6.0 | 5.4 | 1.0 |
| Tiempo de concentración (horas) | 2.7 | 2.1 | 2.7 | 2.3 | 1.9 | 4.6 |
| Densidad de drenaje  (km.km-2) | 1.9 | 3.4 | 1.0 | 2.0 | 1.9 | 2.0 |
| Orden de corriente | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 | 5 |

Cuadro 5. Descriptores del componente de agua disponible para uso humano (AD) en las subcuencas de estudio.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Atributos | Subcuencas Juan El Grande | | | Subcuencas San Pedro Jorullo | | |
| La Colorada | Las Maravillas | Encarnación | Copales | El Algodón | Hacienda Vieja |
| *Rasgos socio-demográficos* | | | | | | |
| Población en 2010 (hab) | 870 | 5,485 | 2,912 | 1,767 | 128 | 1,512 |
| Población estimada en 2020 (hab) | 1,044 | 6,582 | 3,494 | 1,873 | 136 | 1,603 |
| Densidad de población (hab.km-2) | 32 | 171 | 43 | 20 | 2 | 17 |
| Asentamientos Rurales y Urbanos (#) | 1 y 0 | 4 y 1 | 48 y 0 | 17 y 0 | 4 y 0 | 9 / 0 |
| Índice de marginación (promedio) | -0.9 | -1.1 | -0.8 | -0.1 | 0.8 | 0.4 |
| *Fuentes de agua e infraestructura para uso doméstico* | | | | | | |
| Pozos profundos en operación (#) | 12 | 5 | 25 | 0 | 0 | 0 |
| Norias existentes (#) | 7 | 10 | 0 | 9 | 4 | 32 |
| Norias en uso (#) | 0 | 0 | 0 | 5 | 4 | 28 |
| Manantiales aprovechados (#) | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| *Agua extraída para uso doméstico* | | | | | | |
| De pozos profundos para uso público (m3.año-1) a | 121,135 | 305,669 | 53,956 | 0 | 0 | 0 |
| De norias y manantiales (m3.año-1) b | 0 | 0 | 0 | 26,462.5 | 3,650 | 25,550 |
| Agua extraída por habitante en 2010 (l.persona.día-1) | 381.5 | 152.7 | 50.8 | 41 | 78.1 | 46.3 |
| Suficiencia del abasto 2010 d | Suficiente | Suficiente | Sub-óptimo | Insuficiente | Sub-óptimo | Insuficiente |
| Agua extraída por habitante en 2020 (l.persona.día-1) | 317.9 | 127.2 | 42.3 | 38.7 | 73.7 | 43.7 |
| Suficiencia del abasto 2020 d | Suficiente | Optimo | Insuficiente | Insuficiente | Sub-óptimo | Insuficiente |
| Viviendas sin agua entubada (%)c | 7.6 | 23.2 | 4.4 | 30 | 84 | 45.5 |

a  Fuente: CONAGUA (2010).

b Se estima la extracción promedio de agua en norias de 2,500 l día-1 y en manantiales de 15,000 l día-1, fuente: información recabada de entrevistas en las localidades, el valor en norias varía de 500 l día-1 en secas a 5,000 l día-1 en lluvias e igualmente varía dependiendo la ubicación espacial de la noria en la zona media o baja de la cuenca, se debe tomar como un valor de referencia únicamente.

c Censo de población y vivienda 2010 (INEGI, 2010)

d Suficiencia de abasto (l.persona.día-1): >150 suficiente, 101-150 óptimo, 50-100 suboptimo y <50 insuficiente.

Cuadro 6. Cubierta del suelo en los años 2002 y 2011 en las cuencas Juan el Grande (Aguascalientes) y San Pedro Jorullo (Michoacán).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tipo de cubierta | Cuenca Juan El Grande | | | | | Cuenca San Pedro Jorullo | | | | |
| Superficie 2002 (ha) | % | Superficie 2011 (ha) | % | Diferencia (ha) | Superficie 2002 (ha) | % | Superficie 2011 (ha) | % | Diferencia (ha) |
| Bosque | 715.8 | 2.1 | 725.1 | 2.1 | 9 | 6,322.9 | 13.8 | 6991.7 | 15.2 | 669 |
| Selva | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 23,161.4 | 50.4 | 24,086.7 | 52.4 | 925 |
| Palmar | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 907.6 | 2.0 | 815.2 | 1.8 | -92 |
| Matorral | 806.2 | 2.4 | 728.1 | 2.1 | -78 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Pastizal | 8,316.2 | 24.3 | 6,960.4 | 20.3 | -1,356 | 6,772.3 | 14.7 | 4,369.5 | 9.5 | -2,403 |
| Agricultura temporal | 18,903.6 | 55.1 | 18,729.7 | 54.6 | -174 | 8,703.9 | 18.9 | 9,604.8 | 20.9 | 901 |
| Agricultura riego | 5,017.9 | 14.6 | 6,535.8 | 19.1 | 1,518 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| Asentamientos humanos | 520.3 | 1.5 | 600.9 | 1.8 | 81 | 101.9 | 0.2 | 101.9 | 0.2 | 0 |
| Total | 34,280.0 | 100.0 | 34,280.0 | 100.0 | 0.0 | 45,970.0 | 100.0 | 45,969.8 | 100.0 | 0.0 |

F:\ANA BURGOS\MANUSCRITOS\1 - VALORACION SEG HID\JLAG\ENVIO 130318\Salvatore_figura1.tiff

Figura 1. Ubicación de las cuencas de estudio en el Centro-Occidente de México.

F:\ANA BURGOS\MANUSCRITOS\1 - VALORACION SEG HID\JLAG\ENVIO 130318\Salvatore_figura2.tiff

Figura 2. Climatograma de las cuencas Juan El Grande (CJG) y San Pedro Jorullo (CSPJ). Precipitación media mensual (P; eje izquierdo) y Temperatura media mensual (T; eje derecho).

F:\ANA BURGOS\MANUSCRITOS\1 - VALORACION SEG HID\JLAG\ENVIO 130318\Salvatore_figura3.tiff

Figura 3. Balance hídrico climático para la cuenca Juan El Grande, y San Pedro Jorullo. Precipitación (P), evapotranspiración potencial (PET), humedad del suelo (soil moisture) y excedente (surplus). Fuente: normales climáticas (CONAGUA) y modelo del USGS empleando Thornthwaite y Mather (1959).

F:\ANA BURGOS\MANUSCRITOS\1 - VALORACION SEG HID\JLAG\ENVIO 130318\Salvatore_figura4.tiff

Figura 4. Clasificación de la precipitación anual (P) para las series históricas en la cuenca Juan El Grande (1940-2010) y en la cuenca San Pedro Jorullo (1960 – 2010).

F:\ANA BURGOS\MANUSCRITOS\1 - VALORACION SEG HID\JLAG\ENVIO 130318\Salvatore_figura6.tiff

Figura 5. Subcuencas seleccionadas en la sección alta, media y baja de las cuencas Juan El Grande en Aguascalientes (izquierda) y San Pedro Jorullo en Michoacán (derecha)