



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

*DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS
VALORES DE HUELLA HÍDRICA EN LA
REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA
VI/RÍO BRAVO*

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**

PRESENTA:

JESUS LOREDO RASGADO

DIRECTORES:

DR. JUAN MANUEL NAVARRO PINEDA

DR. SAMUEL SANDOVAL SOLÍS

Ciudad de México Septiembre, 2018





ÍNDICE

Introducción	vi
Justificación	vii
Objetivo general	viii
Objetivos particulares	ix
Alcances	x
Hipótesis	xi
Metodología	xii
CAPÍTULO I. MARCO DE REFERENCIA	12.
I.1 Localización geográfica	12.
I.2 Medio biótico	12.
I.2.1 Cobertura vegetal	12.
I.2.2 Flora y fauna	15.
I.3 Medio abiótico	16.
I.3.1 Orografía	16.
I.3.2 Hidrografía.....	18.
I.3.3 Clima	23.
I.3.4 Temperatura	23.
I.3.5 Radiación Solar	25.
I.3.6 Precipitación	26.
I.4 Demografía y actividades económicas	28.
I.5 Infraestructura hidráulica	31.
CAPÍTULO II FISIOGRAFÍA DE LA CUENCA	34.
II.1 Delimitación de la zona de estudio	34.
II.2 Red de Drenaje	34.
II.2.1 Longitud y pendiente media del cauce principal	36.
II.3 Red pluviométrica	37.
II.3.1 Estaciones pluviométricas de la zona de estudio.....	38.
II.4 Recopilación de información de la Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo.	42.



CAPÍTULO III. CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL.....	45.
III.1 Definición, métodos de cálculo	45.
III.1.1 Obtención de la Huella Hídrica Azul histórica, en función de usos consuntivos netos.....	45.
III.2 Obtención de la Huella Hídrica Azul histórica, en función de caudales naturales.	74.
III.3 Comparativa de las 2 formas de obtención de HH Azul.....	78.
CAPÍTULO IV. CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE	79.
IV.1 Definición, método de cálculo.....	79.
IV.1.1 Obtención de la Huella Hídrica Azul más Verde para condiciones actuales, en función de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego.....	79.
IV.1.2 Introducción al Programa CROPWAT 8.0, para la obtención del requerimiento de agua en cada cultivo de la región.	83.
IV.1.3 Obtención de los coeficientes Kc's para cultivos de la región.....	85.
IV.1.4 Obtención del Requerimiento de Agua para el Cultivo (RAC).....	90.
IV.1.5 Obtención de la Huella Hídrica Azul más Verde (2004-2017)	94.
IV.2 Obtención de la Huella Hídrica Azul más Verde para condiciones pasadas, en función de usos consuntivos totales.....	118.
IV. 3 Obtención de la Huella Hídrica Verde.....	123.
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	127.
V.1 Comparativa de resultados de los distintos valores de Huella Hídrica.....	127.
V.2 Interpretación de resultados.....	127.
V.3 Correlación Huella Hídrica Azul por métodos distintos.....	129.
Conclusiones	xiv
Recomendaciones	xv
Bibliografía.....	xvi
Anexos.....	xvii
Índice de figuras.....	xvii
Índice de tablas.....	xviii



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, el día 01 del mes de Septiembre del año 2018, el que suscribe Loredo Rasgado Jesús alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, con número de registro B160407, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, manifiesta que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Samuel Sandoval Solís y el Dr. Juan Manuel Navarro Pineda y cede los derechos del trabajo titulado “Determinación y análisis de los valores de huella hídrica en la región hidrológico-administrativa VI/Río Bravo”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección jlredo@ucdavis.edu. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Loredo Rasgado Jesús



DEDICATORIA.

En primera instancia a mis padres Francisco Loredo Segura y Concepción Rasgado Morán, por ser ellos el pilar más importante y demostrar siempre su cariño y apoyo incondicional, pues gracias a su apoyo he logrado mis objetivos.

A mis hermanos Carolina Guadalupe Loredo Rasgado y Jose Luis Loredo Rasgado, por darme ánimos a continuar con mi preparación académica y profesional y por permitirme ser su ejemplo por seguir.

A mi novia Yesenia Hernández Cerecedo, por su incondicional apoyo. Ella fue una de mis principales motivaciones para continuar estudiando un posgrado. Ayudándome a entender muchas cuestiones metodológicas. A su familia por esta siempre al tanto de mis desempeño académico y profesional. Por convertirse en mi segunda familia al encontrarme tan lejos de casa.

En general a mi familia materna por sus buenos deseos durante todo este proceso de aprendizaje. A mis queridos abuelos que con su sabiduría me alentaron a seguir preparándome y esforzándome sin importar las adversidades.

A todos esos compañeros que conocí durante la Maestría, que me apoyaron cuando tenía algún problema tanto académico como personal. Y aquellos que se convirtieron con el pasar del tiempo en mis amigos incondicionales, en los cuales podía encontrar palabras de aliento.



AGRADECIMIENTOS.

A Dios por darme fuerzas, por protegerme durante todo el camino y superar obstáculos y dificultades.

A mi alma mater el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y claro está, a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco (SEPI ESIA-UZ), que me abrió sus puertas desde el año 2011 cuando inicie la carrera de Ingeniería Civil, por brindarme tan buenos y maravillosos momentos, por formarme como profesionista y ayudarme a entender que cuando nos proponemos algo en la vida podemos alcanzarlo. A todos los profesores tanto de la licenciatura como del posgrado, gracias a ellos pude adquirir todos los conocimientos que el día de hoy poseo.

A la Universidad de California, Davis (UC Davis). Pues gracias a las grandes alianzas que existen entre estas dos instituciones (IPN y UC Davis), esta investigación no hubiera sido posible. Pero en especial, mi eterno agradecimiento al Doctor Samuel Sandoval Solís, quien confió plenamente en mí y en el proyecto que hoy es una realidad. Por dedicarme tantas horas de trabajo, de capacitación. Por lograr transformar mi visión y afinidad por la ciencia y la investigación. Por enseñarme que los mexicanos estamos haciendo las cosas bien, y que podemos sobresalir en cualquier parte del planeta y en cualquier institución, con dedicación y constancia.

Al Doctor Juan Manuel Navarro Pineda, quien desde el primer acercamiento que tuve con él, siempre buscaba la manera de apoyarme para relacionarme con personas expertas en temas de recursos hídricos y que pudieran tener interés en el tema de la Huella Hídrica, además de alentarme e invitarme a participar en diversos proyectos dentro y fuera de la institución. A los integrantes de mi comité tutorial Doctor Mario Ulloa Ramírez, al Doctor Jorge Meléndez Estada, por dedicarle tiempo a la revisión de este proyecto y mostrar buen interés en este.

A mis compañeros que se convirtieron en mis amigos en la Universidad de California, pues desde el primer día me adoptaron como parte de ese maravilloso equipo y que pese a que éramos de diferentes nacionalidades nos acoplábamos de una manera increíble de tal manera que terminaron contribuyendo a mi tema de investigación. Agradecimientos especiales a la Doctora Romina Díaz Gomez originaria de argentino, quien, con sus amplios conocimientos en los sistemas de información geográfica, me ayudo a generar mapas para representar los resultados de esta investigación. Al ingeniero Leo Qiu de origen chino quien manejaba de una manera asombrosa los lenguajes de programación, fue quien me ayudo a sintetizar muchos pasos y ahorrar mucho tiempo en los cálculos de variables fundamentales dentro de la investigación.

A mis grandes amigos Laura Elisa Garza, Noelle Patterson, Jose Pablo Ortiz Partida, Alyssa DeVincentis, Hervé Guillon, con los cuales compartí diversas historias de competencia académica y de diversión. Los cuales convirtieron mi estancia de investigación en un tiempo completamente agradable.

RESUMEN.

Toda el agua que consumimos en actividades cotidianas representa un gran consumo, sin embargo, sólo constituye el uso directo y representa una proporción mínima de nuestro uso total de agua. Por esta razón surge la necesidad de estudiar el concepto de huella hídrica (HH). Se clasifica en 3 tipos o colores: azul, verde y gris. La huella hídrica azul se refiere al consumo de agua superficial y subterránea de determinada cuenca. La huella hídrica verde se concentra en el uso de agua de lluvia, específicamente en el flujo de la evapotranspiración del suelo que se utiliza en agricultura. La huella hídrica gris es toda el agua contaminada por un proceso. Que para esta investigación no se determinó.

De acuerdo con lo anterior se realizó un análisis de la huella hídrica azul y verde en México (más específicamente en la zona transfronteriza del país con Estados Unidos de América, Región Hidrológico-Administrativa VI). Se calculó la huella hídrica azul¹ de dos formas. La primera fue empleando volúmenes de derivaciones, volúmenes de retornos y volúmenes de caudales naturales, comparamos los resultados con una metodología que se fundamenta en la obtención de volúmenes de usos consuntivos netos para algunos puntos importantes del Río Bravo (Distritos de Riego), con lo cual se obtuvieron dos formas distintas de representación de Huella Hídrica Azul (numérica y gráfica, respectivamente).

Posteriormente se obtuvo la huella hídrica azul + verde, conociendo los principales cultivos que se realizan en la zona y empleando diversos parámetros climáticos de los distritos de riego en cuestión. Además de haber desarrollado un método adicional para la obtención de Huella Hídrica Azul más verde, en función de volúmenes de usos consuntivos totales y con los datos de Huella Hídrica Azul más verde y Huella Hídrica Azul (ambos obtenidos en función de usos consuntivos), se realizará una resta entre dichos volúmenes, para con ello obtener el valor de HH verde.

Todo lo anterior para los periodos de tiempo de 1900-1943 y de 2004-2017. Con lo cual se tuvo un mayor impacto al comparar las condiciones históricas con las condiciones actuales de Huella Hídrica.

Con la realización de esta investigación, se pudo obtener la Huella Hídrica tanto azul como verde. En primera instancia, se obtuvo en lo relacionado a cultivos lo cual se puede considerar como una visión actual de este indicador, principalmente por el periodo de tiempo que se tomó (2004-2017). Y por otra parte se obtuvo este indicador para condiciones históricas (1900-1943), destacando la importancia que tienen los usos consuntivos dentro de su estimación y análisis. Se pudo representar de forma visual como se han distribuido los volúmenes de Huella Hídrica tanto azul como verde. Lo que dejó ver el crecimiento en la demanda de productos alimenticios en la región. Por su parte los volúmenes de Huella Hídrica Verde permanecieron constantes con el paso de los años, pues la variable de precipitación no ha sufrido cambios significativos.

ABSTRACT.

All the water consumed in daily activities represents a large consumption, however, only direct use is used and represents a minimum portion of our total water use. For this reason, there is a need to study the concept of water footprint (WFP). It is classified in 3 types or colors: blue, green and gray. The blue water footprint refers to the consumption of surface and groundwater in a given basin. The green water footprint focuses on the use of rainwater, specifically in the flow of soil evapotranspiration that it uses in agriculture. The gray water footprint is all water contaminated by a process. That for this investigation was not determined.

In accordance with the above, an analysis of the blue and green water footprint was made in Mexico (more specifically in the cross-border zone of the country with the United States of America, Hydrological-Administrative Region VI). The blue water footprint was calculated in two ways. The first was using volumes of derivations, volumes of returns and volumes of natural flows, we compared the results with a methodology that is based on obtaining volumes of net consumptive uses for some important points of the Rio Grande (Irrigation Districts), with which obtained two different forms of representation of Blue Water Footprint (numerical and graphic, respectively).

Later the blue + green water footprint was obtained, knowing the main crops that are made in the area and using various climatic parameters of the irrigation districts in question. In addition to having developed an additional method for obtaining a blue + green water footprint, based on volumes of total consumptive uses and with the data of the blue + green water footprint and blue water footprint (both obtained based on consumptive uses), make a subtraction between these volumes, to obtain the value of green WFP.

All the above for the time periods of 1900-1943 and 2004-2017. With this, a greater impact was had when comparing the historical conditions with the current conditions of Water Footprint.

With the accomplishment of this investigation, it was possible to obtain the Blue and Green Water Footprint. In the first instance, it was obtained in relation to crops, which could be considered as a current vision of this indicator, mainly for the period that was taken (2004-2017). And on the other hand, this indicator was obtained for historical conditions (1900-1943), highlighting the importance of consumptive uses within its estimation and analysis. It was possible to visualize how the volumes of Water Footprint, both blue and green, have been distributed. What showed growth in the demand for food products in the region. On the other hand, the volumes of Green Water Footprint remained constant over the years, as the rainfall variable has not undergone significant changes.

INTRODUCCIÓN.

Para vivir requerimos agua. No obstante, el agua que bebemos no es la única que consumimos, también lo hacemos al bañarnos, lavar trastes, limpiar, regar, cocinar y muchas otras actividades que implican que veamos agua correr frente a nuestros ojos todos los días. Todo esto representa un gran consumo, sin embargo, sólo constituye el uso directo y representa una proporción mínima de nuestro uso total de agua (WWF México, 2012).

Por esta razón surge la necesidad de estudiar el concepto de huella hídrica (HH). Es un indicador que nos permite conocer toda el agua que utilizamos en nuestra vida diaria, para producir nuestra comida, en procesos industriales y generación de energía, así como la que ensuciamos y contaminamos a través de esos mismos procesos. Nos permite conocer el volumen de agua que aprovecha ya sea un individuo, un grupo de personas o consumidores, una región, país o la humanidad en su conjunto (WWF México, 2012).

Es un indicador multidimensional que hace explícito el lugar de origen, la fuente (color) y el momento en que el agua es utilizada y regresada (al lugar de origen o bien a otro lugar). Además, toma en cuenta factores locales para dar un contexto real y útil al concepto; es decir, evaluar los impactos en tiempo y espacio de la extracción del agua, afectación al régimen hidrológico, importancia ecológica de la zona, etcétera (WWF México, 2012).

La HH considera la fuente de donde proviene el agua y, en función de ello, la clasifica en 3 tipos o colores: azul, verde y gris.

La huella hídrica azul se refiere al consumo de agua superficial y subterránea de determinada cuenca, entendiendo consumo como extracción. Es decir, si el agua utilizada regresa intacta al mismo lugar del que se tomó dentro de un tiempo breve, no se toma en cuenta como HH.

Igualmente, la huella hídrica verde se concentra en el uso de agua de lluvia, específicamente en el flujo de la evapotranspiración del suelo que se utiliza en agricultura y producción forestal.

Finalmente, la huella hídrica gris es toda el agua contaminada por un proceso. No es un indicador de la cantidad de agua contaminada, sino de la cantidad de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes dadas las concentraciones naturales conocidas de éstos y los estándares locales de calidad del agua vigentes.

La suma del agua verde, el agua azul y el agua gris que requiere un producto o servicio dentro de todo el proceso de elaboración será su huella hídrica (WWF México, 2012).

El concepto de huella hídrica puede ser usado como un instrumento para mejorar la eficiencia global del uso del agua, a fin de alcanzar una seguridad hídrica en regiones pobres de agua del mundo y reducir los impactos al medio ambiente (Arreguín et al., 2007).

Sabemos que la huella hídrica de producción en México está por encima de la huella hídrica promedio global (WWF México, 2012), con esto podemos puntualizar la existencia de un problema.

Elevar la productividad y eficiencia agrícola, así como una mejor captación y aprovechamiento de agua de lluvia puede contribuir en la reducción de la HH y la presión que esta ejerce sobre las cuencas (WWF México, 2012).

El problema detectado es ***la escasa comparación de volúmenes de Huella Hídrica calculados con diferentes metodologías en un mismo estudio.***

Se han identificado algunas comparaciones de valores de huella hídrica del mismo color, con métodos diferentes al que se presenta en la actual investigación y aplicado a una región diferente (Espejo, 2013), a la región del Río Bravo.

Se han detectado diversos casos de estudio donde la Huella Hídrica de uso agrícola es la principal protagonista. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se enfocan únicamente en algún cultivo particular, un distrito de riego, un estado. Por lo que se hace necesario un estudio más completo tanto en extensión territorial como en impacto en la toma de decisiones.

De acuerdo con lo anterior se realizó un análisis de la huella hídrica en México (más específicamente en la zona transfronteriza del país con Estados Unidos de América, Región Hidrológico-Administrativa VI). Aprovechando la ubicación estratégica de México (CONAGUA, 2012), podemos comparar los resultados obtenidos con Estados Unidos, país que ha logrado aminorar los volúmenes de agua empleados en procesos de producción (Cortés, Pérez, Mogollón, & González, 2007). Refiriéndose esta comparación únicamente al consumo de agua en actividades agrícolas. Puntualmente abarcando los distritos de riego en la región del Río Bravo, donde se cuenta con información de lámina de lluvia y producción (CONAGUA, 2016).

La presente investigación se delimita a ***la obtención de la huella hídrica azul y verde de la Región Hidrológico-Administrativa VI (Río Bravo), y a la comparación de los valores de huella hídrica obtenida por 3 métodos diferentes.*** Bajo la perspectiva de ***facilitar el análisis de la huella hídrica de uso en diversos productos agrícolas.***

Se calculó la huella hídrica azul₁ de dos formas. La primera fue empleando formulas básicas, volúmenes de derivaciones, volúmenes de retornos y volúmenes de caudales naturales de la región del Río Bravo, a continuación comparamos los resultados con una metodología desarrollada en conjunto con la Universidad de California, Davis (UCDavis), la cual se fundamenta en la obtención de volúmenes de usos consuntivos netos para

algunos puntos importantes del Río Bravo (Distritos de Riego), con lo cual se obtuvieron dos formas distintas de representación de Huella Hídrica Azul (numérica y gráfica, respectivamente).

Posteriormente se obtuvo la huella hídrica azul + verde, conociendo los principales cultivos que se realizan en la zona (SEMARNAT, 2012) y empleando diversos parámetros climáticos de los distritos de riego en cuestión.

Además de haber desarrollado un método adicional para la obtención de Huella Hídrica Azul más verde, en función de volúmenes de usos consuntivos totales. Metodología que posteriormente nos sirvió para determinar la Huella Hídrica color verde.

Finalmente, y con los datos de Huella Hídrica Azul más verde y Huella Hídrica Azul (ambos obtenidos en función de usos consuntivos), se realizará una resta entre dichos volúmenes, para con ello obtener el valor de HH verde.

Todo lo anterior para los periodos de tiempo de 1900-1943 y de 2004-2017. Con lo cual se tuvo un mayor impacto al comparar las condiciones históricas con las condiciones actuales de Huella Hídrica.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

De acuerdo con el conocimiento establecido, existen países como Estados Unidos de América que han logrado aminorar los volúmenes de agua empleados en procesos de producción agrícola, específicamente en el estado de California, donde las actividades relacionadas con la agricultura son eje central en la economía. De ahí surge la necesidad de calcular y comparar los valores de huella hídrica en la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo.

Se hace necesario obtener el mayor rendimiento por cada gota de agua destinada a la producción agrícola, principalmente porque vivimos en una época con grandes problemas alimenticios y de abastecimiento del recurso hídrico.

Aunque se han destinado importantes volúmenes de agua y superficie a la producción primaria, los rendimientos son insuficientes para abastecer al total de la población nacional, y la demanda de agua compromete la sostenibilidad de los ecosistemas.

En consecuencia, es posible obtener y analizar volúmenes de Huella Hídrica en sus condiciones históricas (1900-1943) y actuales (2004-2017) mediante métodos diferentes, lo cual permitió realizar consideraciones sobre el volumen de agua destinado a la actividad agrícola, actividad que mayormente emplea el agua a nivel mundial.

Supimos porque la parte baja del Río Bravo cuenta con mucha agua, mientras que en la parte alta sufren los estragos de las sequías.

Para lo anterior, fue necesario analizar y aplicar el concepto de evapotranspiración a la región de estudio. Considerando un método desarrollado por la FAO (Organización de las



naciones unidas para la agricultura y la alimentación, por sus siglas en inglés), llamado método de Penman-Monteith. Método que nos servirá de base en la utilización de software creado por la organización antes mencionada, para obtener el requerimiento de agua por cultivo y posteriormente la Huella Hídrica azul más verde en cada Distrito de Riego. Dicho software tiene por nombre CropWat en su versión 8.0.

Todo esto servirá para futuras investigaciones relacionadas con el tema de huella hídrica y análisis de caudales naturales.

Finalmente se pretende que las personas tengan la capacidad de adquirir o cultivar (en el caso de agricultores) un alimento que conlleve en su producción una menor cantidad de agua y que les aporte un mayor número de nutrientes.

OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación tiene como objetivo determinar diferentes metodologías para la estimación de la Huella Hídrica.

OBJETIVOS PARTICULARES DE LA INVESTIGACIÓN.

Los objetivos específicos para el logro del objetivo general son los siguientes:

- Objetivo 1: Seleccionar/Determinar un método para estimar la Huella Hídrica en Distritos de Riego de una Región Hidrológico-Administrativa.
- Objetivo 2: Seleccionar/Determinar un método para estimar la Huella Hídrica de los principales cultivos que se realizan en una Región Hidrológico-Administrativa.
- Objetivo 3: Determinar un método para estimar la Huella Hídrica en el caudal natural.

ALCANCES.

En el presente trabajo se desarrollaron los siguientes apartados:

- Se delimitó la zona de estudio para conocer sus rasgos principales como el clima, orografía, hidrografía, etc. Así como aspectos ecológicos de importancia.
- Obtención de datos climáticos importantes para los diferentes distritos de riego que se abarcaron en este estudio, precipitaciones, temperaturas promedio mensuales, así como datos de humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar. Estos datos se obtuvieron de Estaciones Meteorológicas Automáticas y con ayuda del software ERIIC III.
- Obtención y comparación de los valores de huella hídrica de los diferentes puntos de estudio.

- Establecer las conclusiones y recomendaciones obtenidas del análisis de resultados.

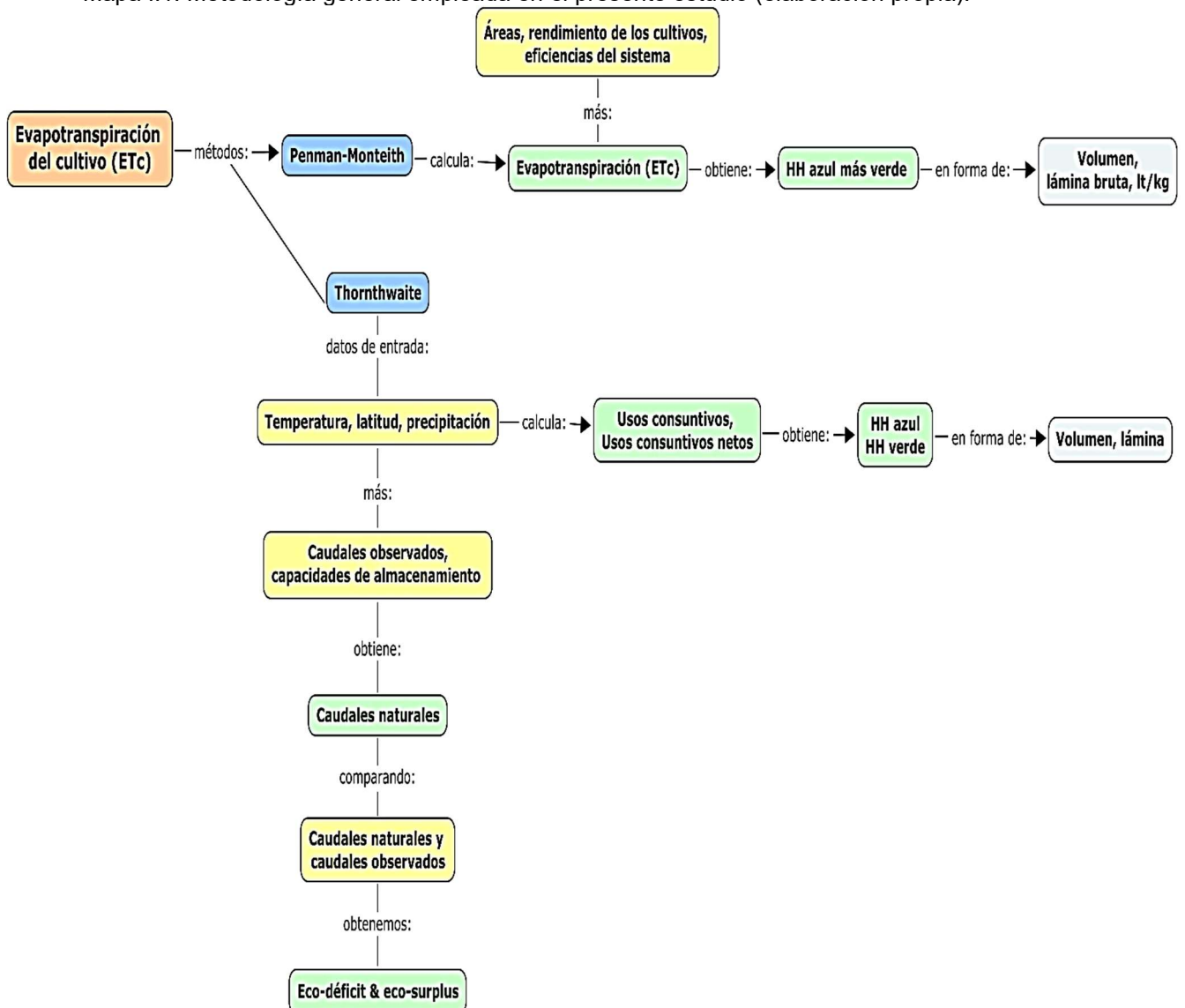
HIPÓTESIS.

Por lo anterior, es posible estimar la Huella Hídrica en la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo. En los Distritos de Riego de los que consta y para los cultivos que se realizan en la zona. Con ello se espera conocer el impacto en el caudal natural de dicha Región.

METODOLOGÍA.

En el mapa I.1 se puede observar la metodología general que se desarrolló en esta investigación, explicándose a continuación cada uno de los métodos que la conforman.

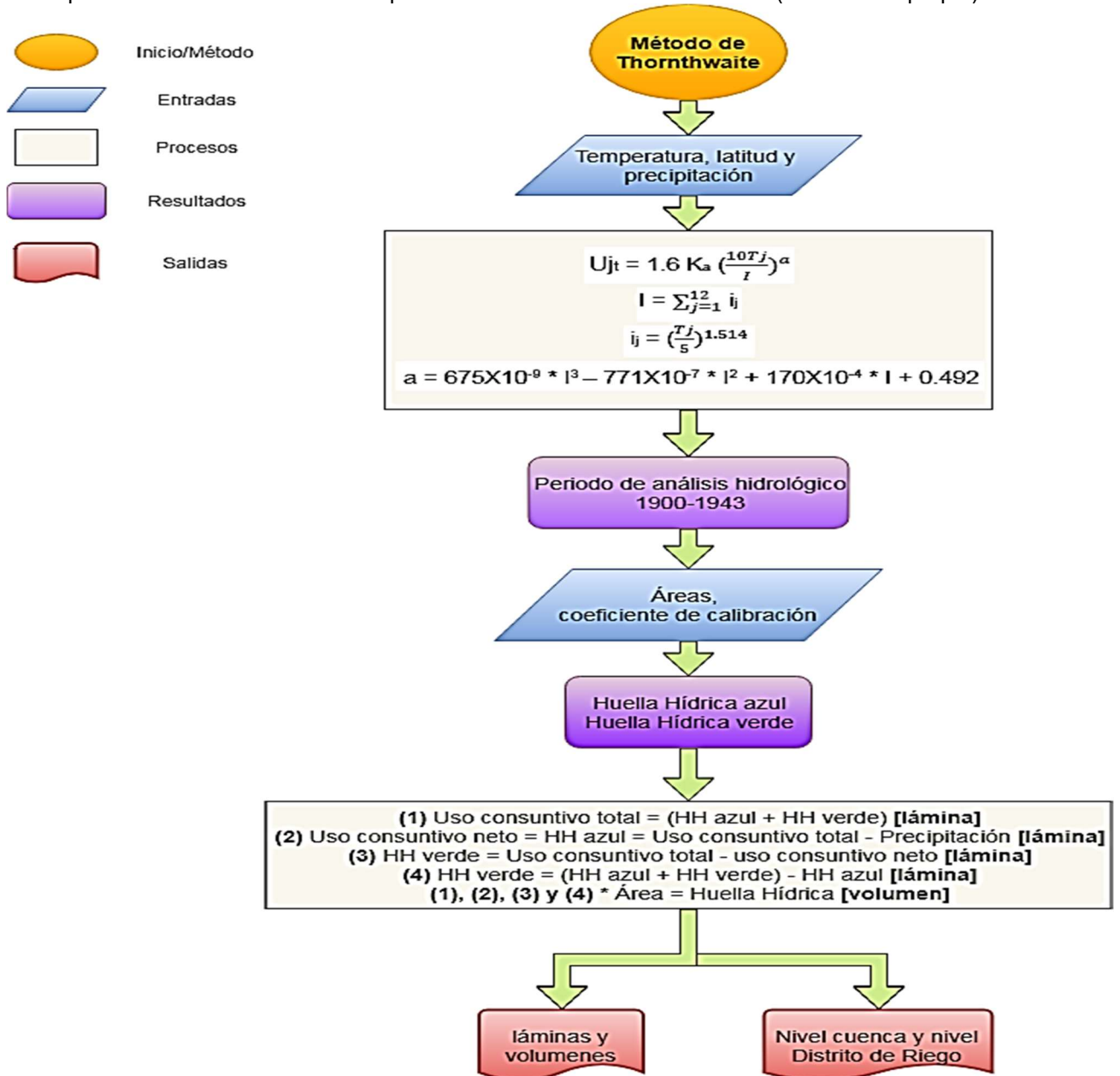
Mapa I.1. Metodología general empleada en el presente estudio (elaboración propia).



Los métodos que se aplicaron para lograr el objetivo de la investigación son los siguientes:

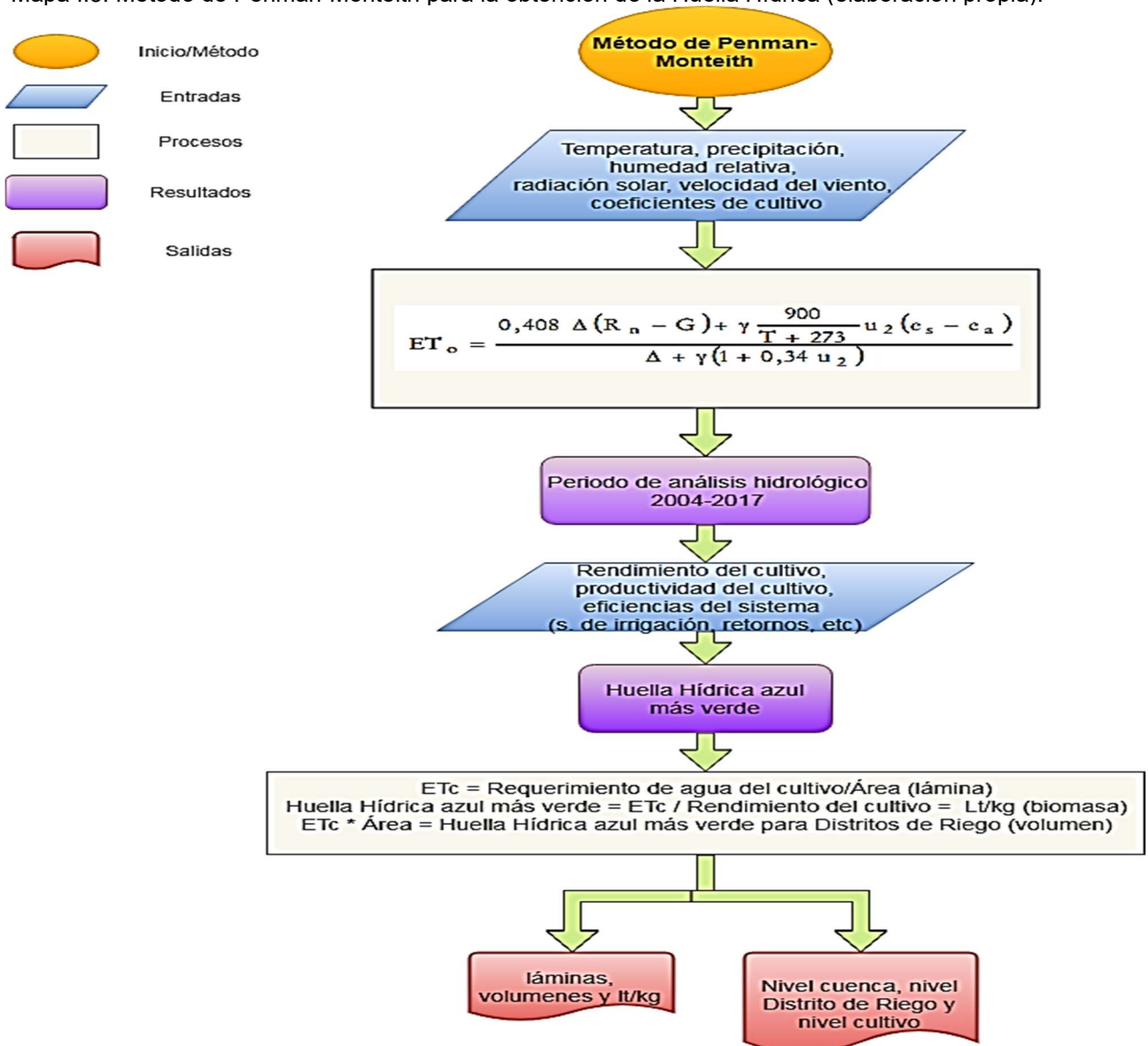
1. Aplicando el método de Thornthwaite se pudo obtener la Huella Hídrica azul y verde de manera separada. Esto, para un periodo de análisis hidrológico comprendido del año 1900 al año 1943. Empleando como datos de entrada diferentes parámetros climáticos como la temperatura, precipitación, latitud, áreas, coeficiente de calibración (Kc). Y obteniendo como datos de salida laminas y volúmenes de Huella Hídrica. Pudiéndose aplicar esta metodología a nivel de cuenca y a nivel de Distrito de Riego. Como se aprecia en el mapa I.2.

Mapa I.2. Método de Thornthwaite para la obtención de la Huella Hídrica (elaboración propia).



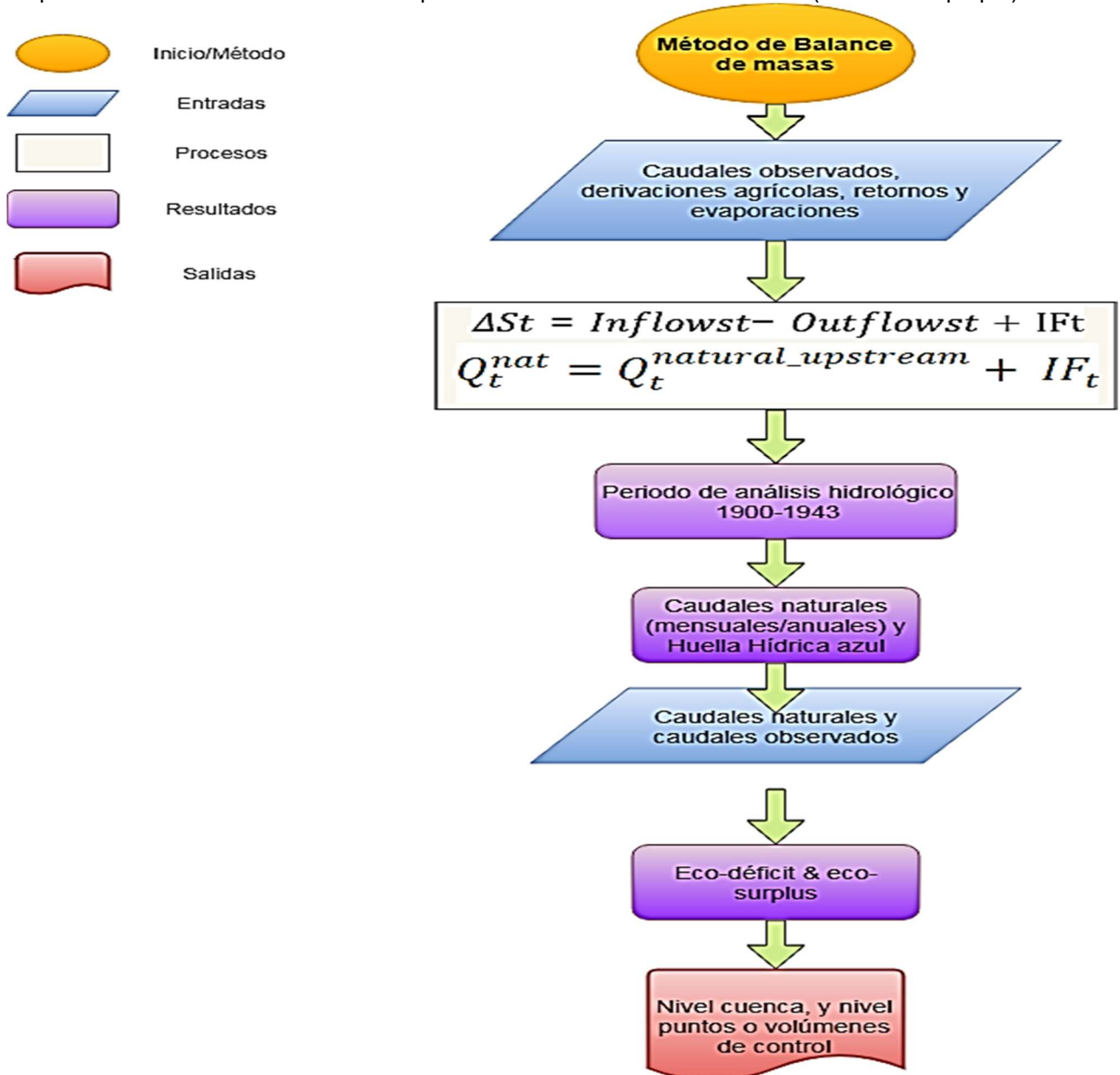
2. Por otra parte, aplicando el método de Penman-Monteith se pudo obtener la Huella Hídrica únicamente azul más verde. Esto, para un periodo de análisis hidrológico comprendido del año 2004 al año 2017. Empleando como datos de entrada de igual manera parámetros climáticos como temperatura, precipitación, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, coeficientes de cultivo (K_c), rendimiento del cultivo, productividad del cultivo, así como parámetros referentes a eficiencias del sistema en las redes de distribución, en los sistemas de irrigación, retornos, etc. Y obteniendo como datos de salida laminas y volúmenes de Huella Hídrica, además de obtener la eficiencia en el uso del agua (l_t/kg), esto de vital importancia pues con esta eficiencia podemos obtener más cosecha por gota de agua. Pudiéndose aplicar esta metodología a nivel cuenca, a nivel Distrito de Riego y a nivel cultivo. Como se observa en el mapa I.3.

Mapa I.3. Método de Penman-Monteith para la obtención de la Huella Hídrica (elaboración propia).



3. Finalmente, aplicando el método de balance de masas, mediante la estimación de caudales naturales, se pudo obtener una forma de representación de la Huella Hídrica azul. Esto, para un periodo de análisis hidrológico comprendido del año 1900 al año 1943. Empleando como datos de entrada valores de caudales observados, derivaciones agrícolas, retornos y evaporaciones. Y obteniendo como datos de salida caudales naturales mensuales y anuales, así como volumen de Huella Hídrica. Así mismo se pudieron representar los fenómenos de eco-deficit e eco-surplus, partiendo de la comparación de naturales caudales naturales y los caudales observados. Pudiéndose aplicar esta metodología a nivel cuenca y a nivel puntos o volúmenes de control. Como se aprecia en el mapa I.4.

Mapa I.4. Método de balance de masas para la obtención de la Huella Hídrica (elaboración propia).





CAPITULO 1. MARCO DE REFERENCIA.

I.1 Localización geográfica.

La Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo (RHA VI RB) se encuentra en la parte norte del país, colindando con los Estados Unidos de América, con quien comparte la cuenca de este río, adquiriendo la característica de internacional.

Incluye todo el estado de Nuevo León y parte de los estados de Coahuila de Zaragoza, Chihuahua y Tamaulipas, con un total de 144 municipios: 31 en Coahuila de Zaragoza, 52 en Chihuahua, 51 en Nuevo León y 10 en Tamaulipas (SEMARNAT, 2012).

Cuenta con un área aproximada de 455,000 km²; de la cual, poco más de la mitad corresponde a Estados Unidos de América (230,427 km²) y la otra parte (225,242 km²) corresponde a México (CONAGUA, 2010: 38; IBWC/CILA, 2004: 2).

La Región Hidrológico-Administrativa VI incluye la región hidrológica 24 Bravo-Conchos, la 34 Cuencas Cerradas del Norte y parcialmente las 25 San Fernando-Soto La Marina, 35 Mapimí, 37 El Salado, 36 Nazas-Aguanaval, 10 Sinaloa y la 9 Sonora Sur (SEMARNAT, 2012). Como se aprecia en la figura 1.1.

I.2 Medio biótico.

I.2.1 Cobertura vegetal y usos de suelo.

Se cuenta con una distribución en el uso del suelo por vegetación natural tipo matorral xerófilo (56.2%), pastizal natural (15.5%), bosques (10.6%), pastizal inducido (9.2%), y agricultura de riego y temporal (4.5%), el restante 14.0% corresponde a otros usos. La desembocadura del río Bravo en el Golfo de México tiene una pequeña porción de playas, en el estado de Tamaulipas como se aprecia en la figura 1.2 y en la gráfica 1.1 (Bravo et al., 2000; WRI, 2003).

La Región Hidrológico-Administrativa VI cuenta en total con 13 distritos de riego donde se irrigan aproximadamente más de medio millón de hectáreas distribuidas en cinco estados: Tamaulipas, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Durango. Los cuales son de suma importancia conocerlos, debido al gran impacto que tendrán dentro de esta investigación. Los cuales se detallarán más adelante (SEMARNAT, 2012).

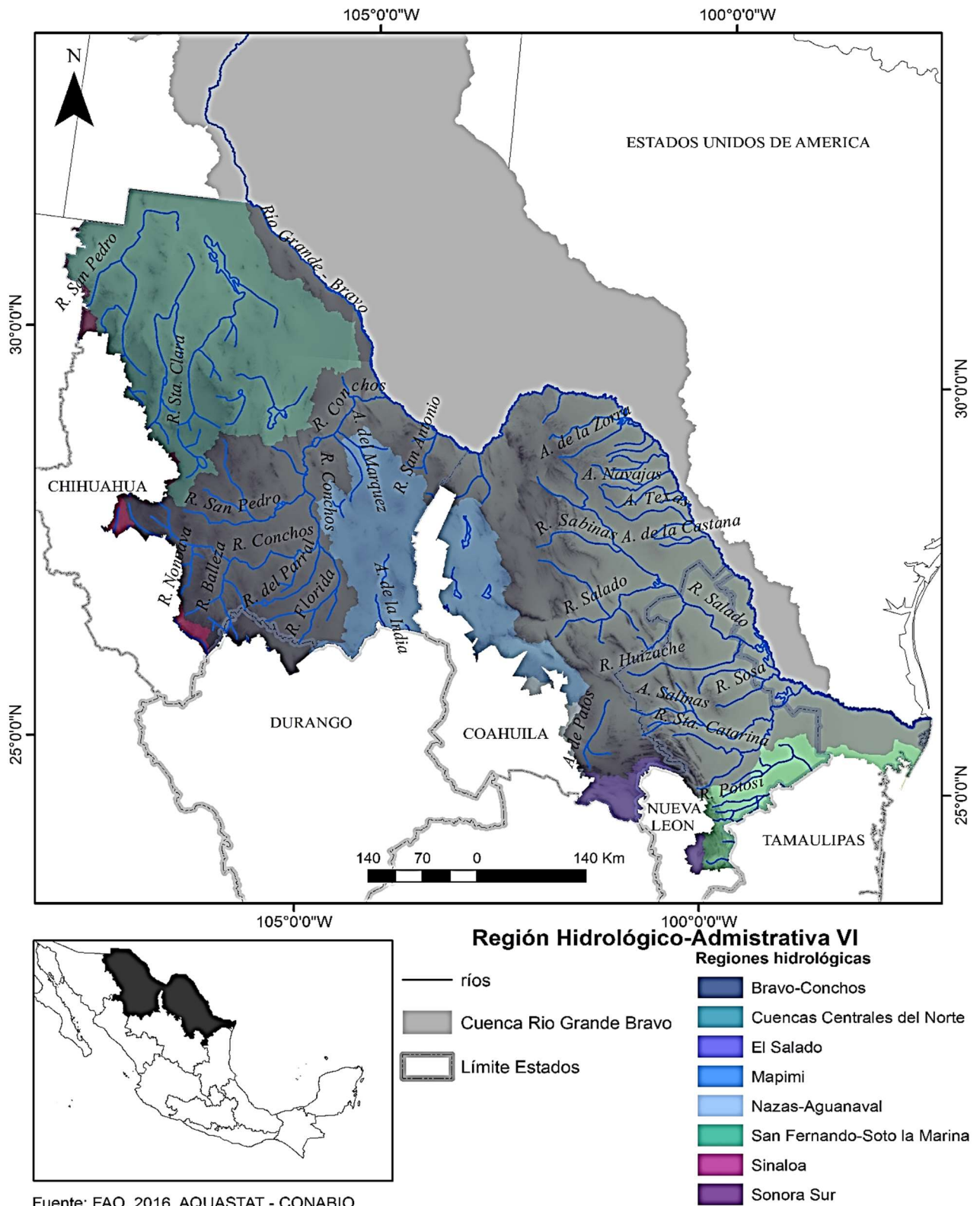
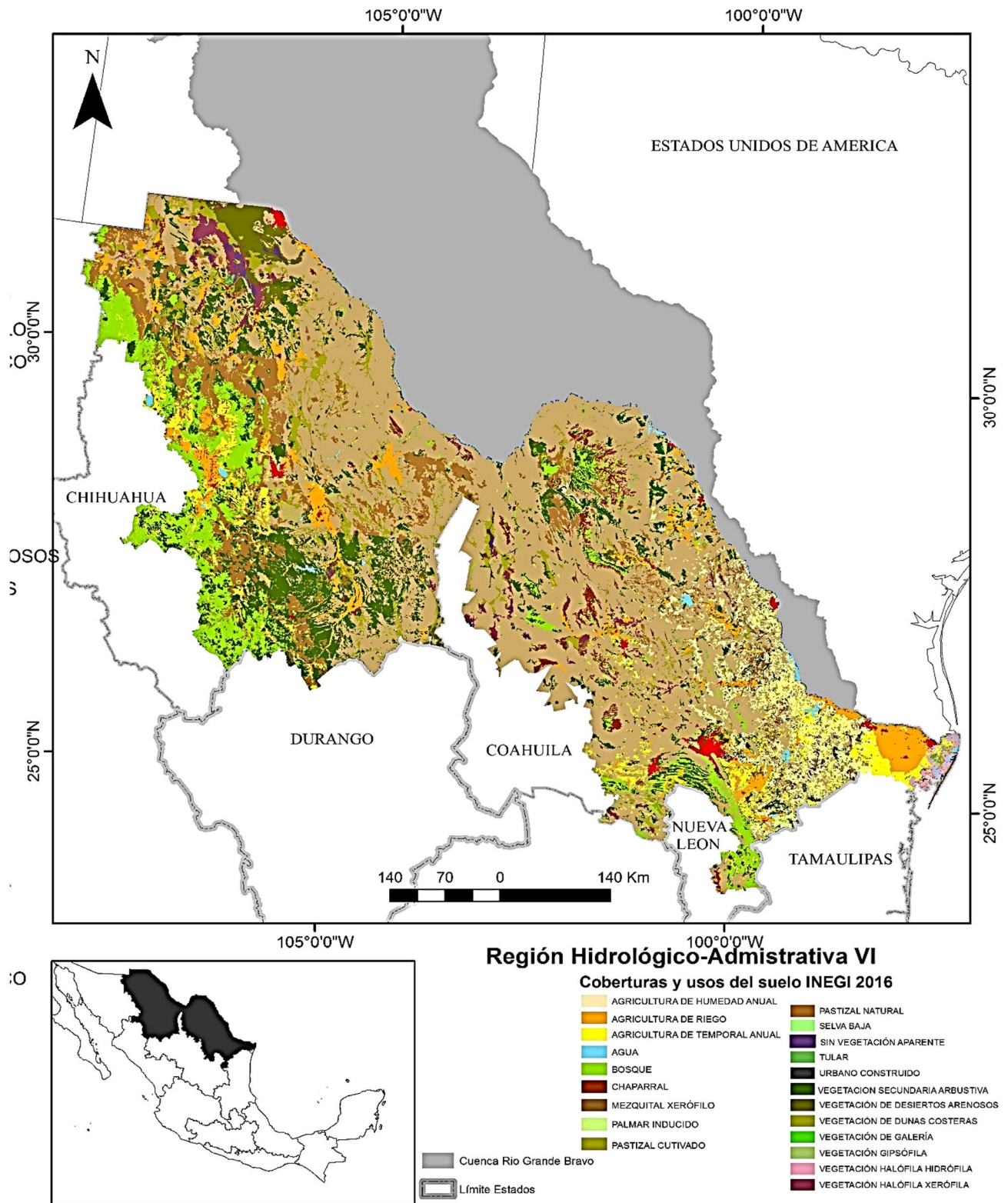
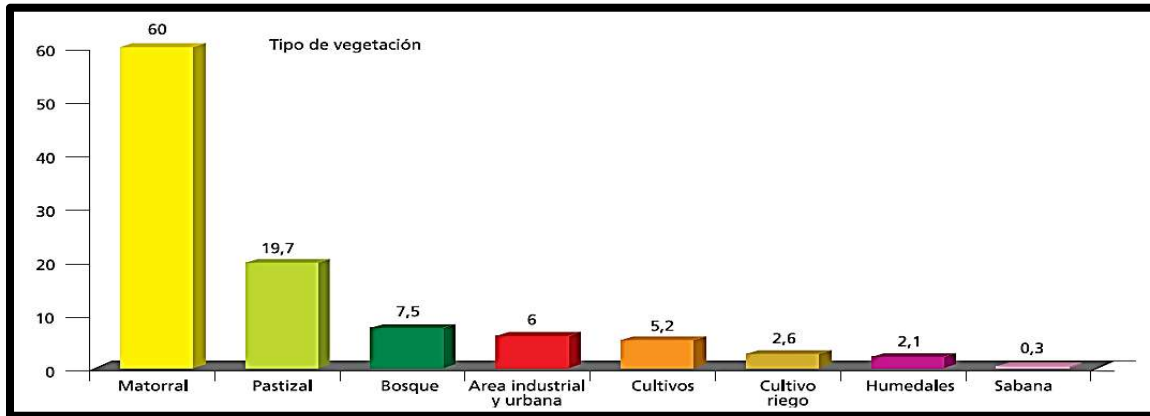


Figura 1.1 Región-Hidrológico Administrativa VI / Río Bravo. Fuente: Elaboración propia en base a (CONABIO, 2016).



Fuente: INEGI 2016 . Escala : 1:250.000

Figura 1.2 Cobertura vegetal de la región. Elaboración propia en base a (INEGI, 2016).

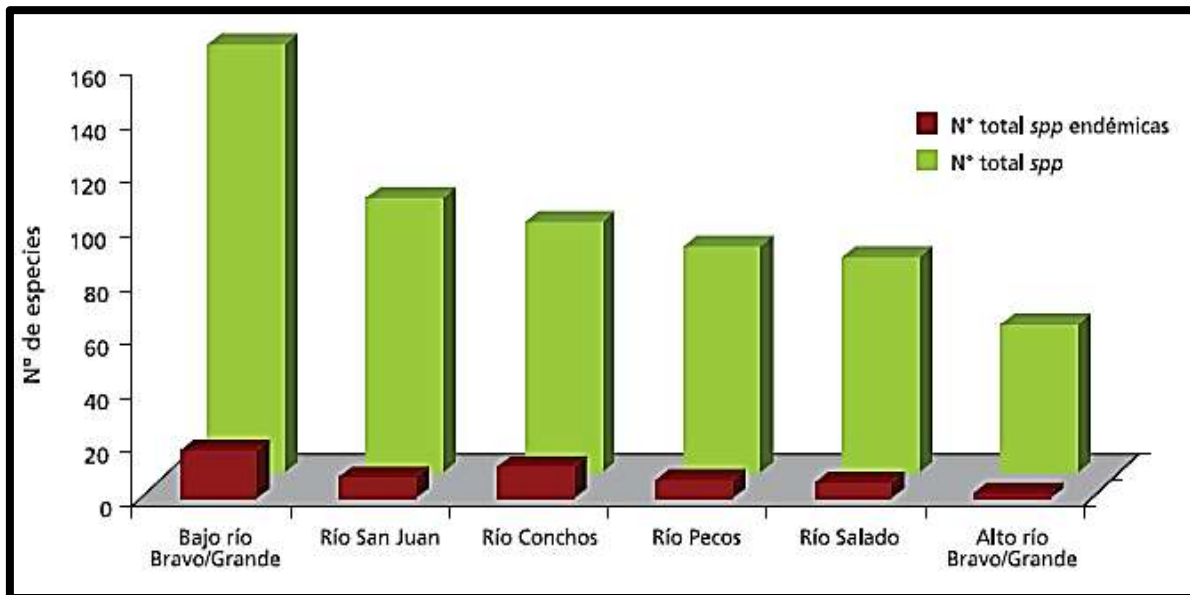


Gráfica 1.1 Cobertura de los tipos de vegetación (WRI, 2003).

I.2.2 Flora y fauna.

En la Región Hidrológico-Administrativa del río Bravo/Grande se tiene una riqueza de especies debido a diversos factores como al gradiente de altitudes (0-4, 257 msnm), la amplitud longitudinal (10°) y latitudinal (15°), así como una amplia diversidad de ecorregiones terrestres y acuáticas. Existen alrededor de 35 especies de anfibios y 121 especies de peces presentes en la cuenca, de las cuales más de la mitad (n=69) son endémicas (WRI, 2003).

Esto se puede apreciar en cada una de las seis ecorregiones hidrográficas que la integran como se observa en la gráfica 1.2 (Abell et al., 2000).



Gráfica 1.2 Riqueza de especies nativas y endémicas por ecorregión hidrográfica (elaborada con base en Abell et al., 2000: 132).

De todas las ecorregiones hidrográficas de la Región Hidrológico-Administrativa del río Bravo/Grande destaca el bajo río Bravo/Grande, tanto en riqueza de especies como en endemismos (SEMARNAT, 2010).

Sin embargo, el estado de conservación de la cuenca es preocupante, pues según Abell et al. (2000) tres de las seis ecorregiones hidrográficas se consideran en estado crítico y las otras tres como amenazadas como se muestra en la tabla 1.1.

Esta cuenca ofrece además importantes condiciones de corredor para fauna silvestre y hábitat de especies residentes y migratorias.

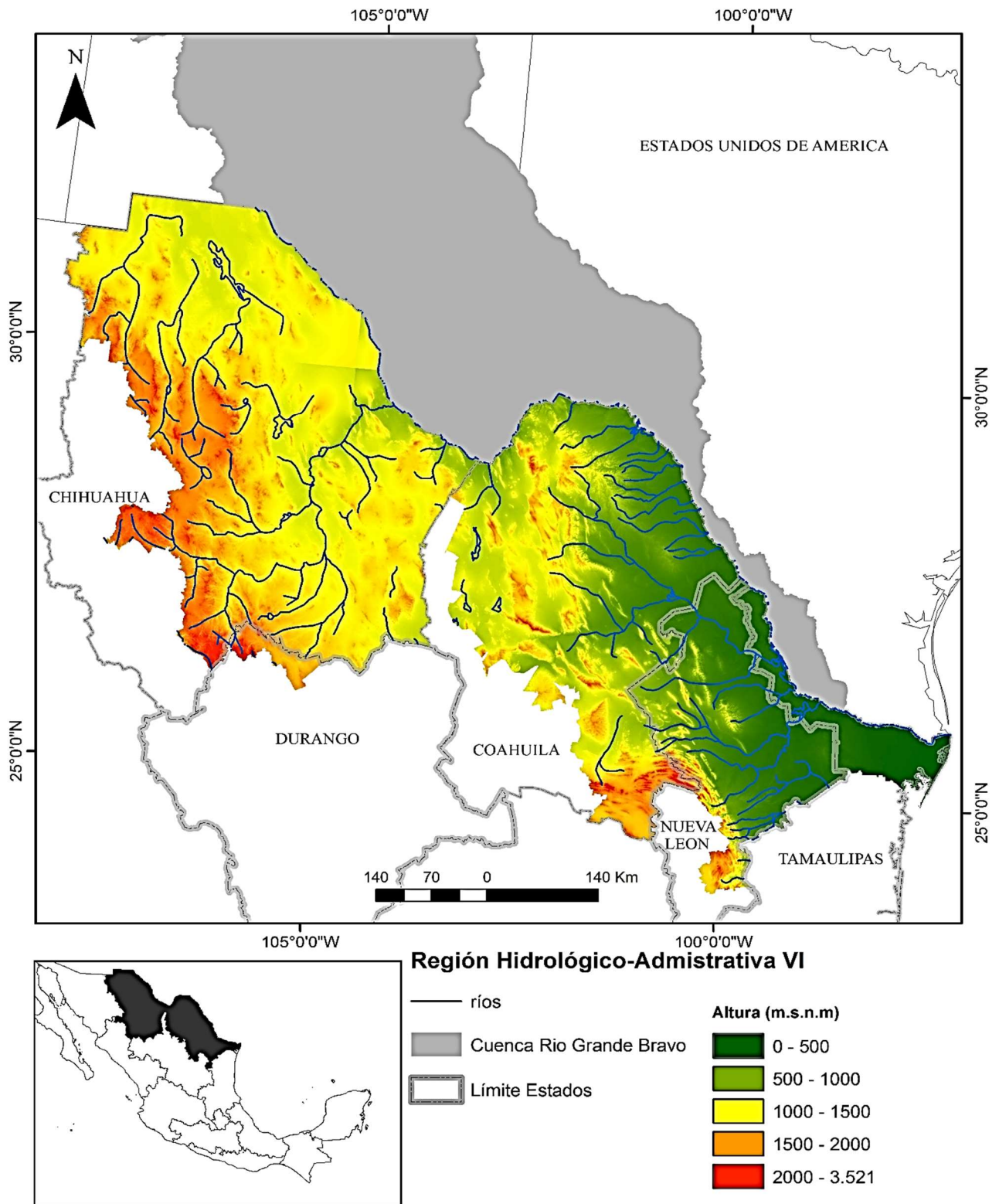
Tabla 1.1 Estado de conservación de las ecorregiones hidrográficas del río Bravo, tomando en cuenta peces, moluscos, crustáceos de río y reptiles (elaborada con base en Abell et al., 2000:132).

Ecoregión hidrográfica	No. total spp	No. total spp endémicas	Estado de conservación
Bajo río Bravo/ Grande	159	18	Crítico
Río San Juan	102	8	Amenazado
Río Conchos	93	12	Crítico
Río Pecos	84	7	Amenazado
Río Salado	80	6	Amenazado
Alto río Bravo/ Grande	55	2	Crítico

I.3 Medio abiótico.

I.3.1 Orografía.

Esta región se caracteriza por tener elevaciones desde el nivel del mar (en la desembocadura del Río Bravo en el Golfo de México) hasta una altitud de 3,300 msnm en la Sierra Madre Occidental, en el estado de Chihuahua como se aprecia en la figura 1.3 (SEMARNAT, 2012).



Fuente: DEM CEM 3.0 INEGI

Figura 1.3 Relieve (Hipsobatismetría). Fuente: Elaboración propia en base a (INEGI, 2002).

I.3.2 Hidrografía.

El Río Bravo/Grande que tiene 3,034 km de longitud, es el más largo de México teniendo la mayor cuenca del país; es el cuarto río más largo de EUA y el quinto de América del Norte (Wislizenus, 1848:22; WET, 2001: 32, 38; Schwandt, 2001; CONAGUA, 2010: 34, 199).

En los Estados Unidos de América, el afluente más importante del río Bravo es el río Pecos, en México los afluentes más importantes son los ríos Conchos, San Juan y Sabinas (SEMARNAT, 2012).

Las principales corrientes que conforman la red hidrográfica de la región son el Río Bravo, con sus afluentes: Conchos, San Pedro, Chuviscar, Florido, Parral para la cuenca del Río Conchos; Arroyo las Vacas, Río San Rodrigo, Río San Diego, Río Escondido, los afluentes El Infante, Álamos, Monclova, Sabinas, y Salado para la cuenca del Río Salado; el Río Álamo, Salinas, Pesquería, Santa Catarina, El Lobo y San Juan para la cuenca del Río San Juan como se aprecia en la figura 1.4 (IMTA, 2013).

Lo anterior es fundamental, pues esta investigación abordó de manera directa cada uno de los afluentes que comprende el Río Bravo, específicamente desde la parte alta del Río Conchos, hasta la desembocadura del Río San Juan.

Destacando que se estudiaron tanto afluentes que se encuentran del lado mexicano, así como afluentes que se encuentran dentro de territorio estadounidense, pues uno de los puntos que se pretende enfatizar es el hecho que los cuerpos de agua, así como las cuencas, no obedecen un límite territorial. De ahí la importancia de trabajar en conjunto las dos naciones por el bien común de tener acceso suficiente al agua, para con ello desarrollar las diversas actividades que demandan los dos países, sin olvidar, el orden ecológico y el bienestar de los ecosistemas.

La importancia de estudiar esta región radica entre otras cosas en su gran extensión, como se aprecia en la figura 1.4, y como se ha mencionado anteriormente por la importancia de su ubicación geográfica. Pues ha sido objeto de diversos tratados y foros dedicados exclusivamente a la distribución de su volumen.

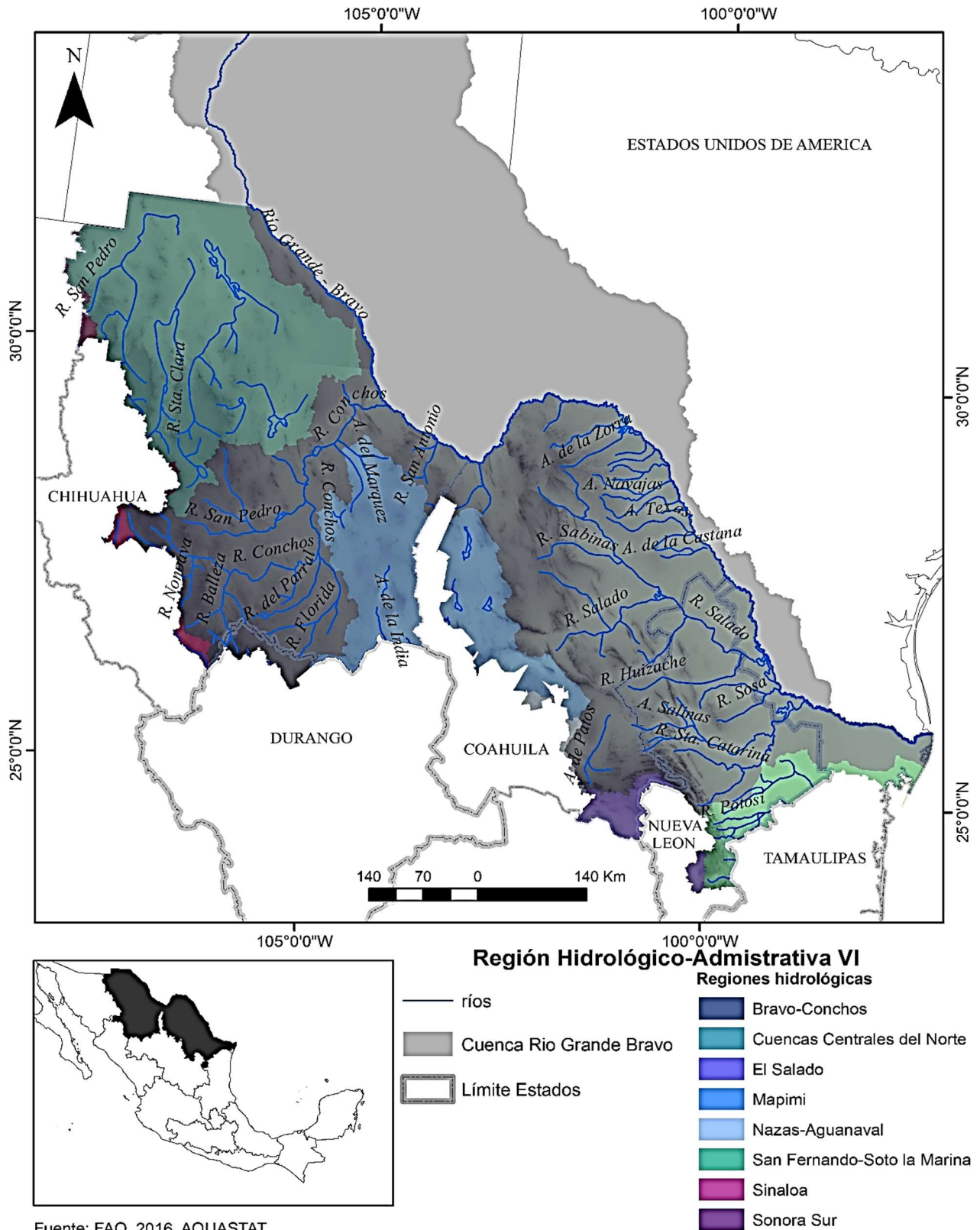
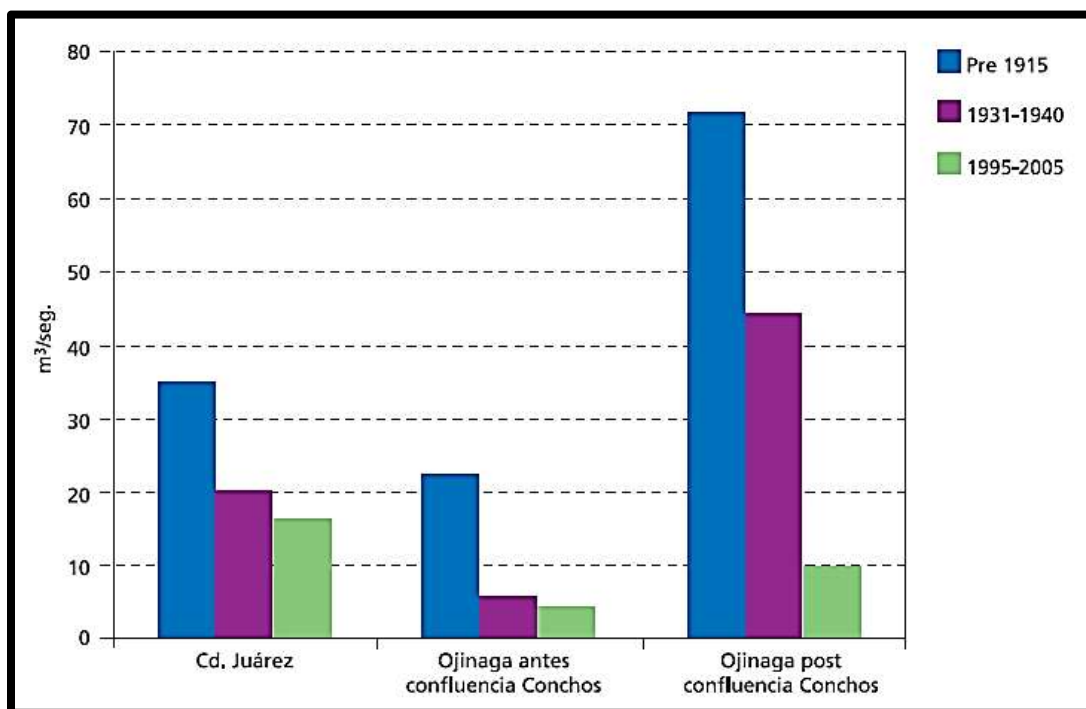


Figura 1.4 Ríos Principales. Fuente: Elaboración propia en base a (FAO. AQUASTAT, 2016).

La cuenca del río Bravo es la cuarta cuenca de trece en México que poseen mayor volumen de agua concesionada para uso consuntivo según registros de la Comisión Nacional del Agua (9,200 millones de m³; CONAGUA, 2010: 63).

Ambos países (México y los Estados Unidos de América) se reparten cada uno la mitad del escurrimiento de la cuenca del río Bravo/Grande aguas abajo de la presa Falcón (CONAGUA, 2010: 40).

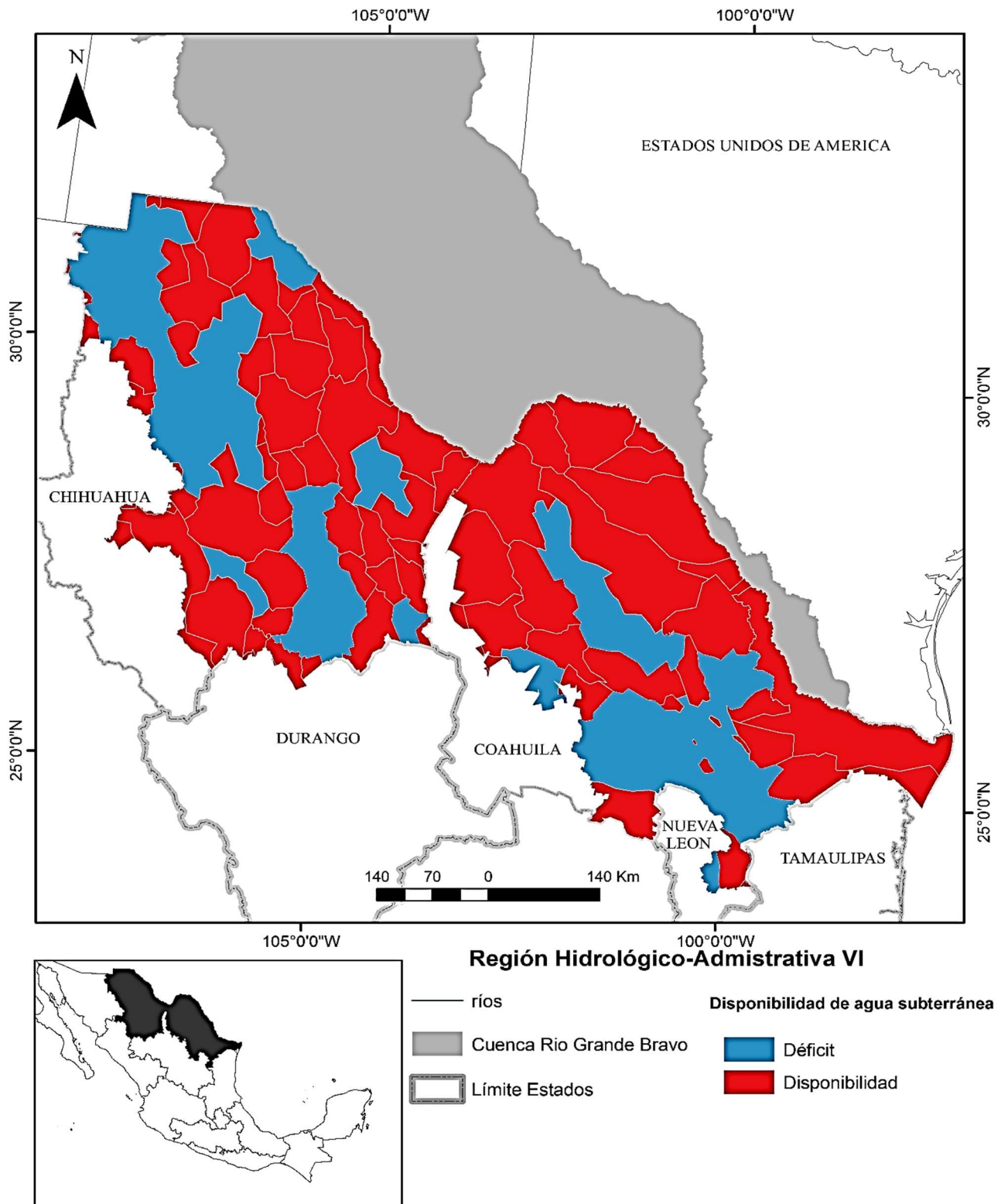
De 1916 a la fecha el caudal del río Bravo ha disminuido notablemente. Como se puede ver en la gráfica 1.3, a la altura de Cd. Juárez/El Paso se ha reducido en casi 50% y en Ojinaga, cerca de la confluencia con el río Conchos, en casi 80%, aun tomando en cuenta la aportación del río Conchos (Dean, 2009).



Gráfica 1.3 Cambios en el caudal del río Bravo /Grande, medidos por su flujo anual medio (elaborada con base en datos de Dean, 2009).

Los principales afluentes del río Bravo son los ríos Conchos, San Diego, San Rodrigo, Escondido, Salado y arroyo Las Vacas, cuyas aguas se encuentran parcialmente comprometidas en el Tratado Internacional de Aguas, y los ríos Álamo, Santa Catarina y San Juan (SEMARNAT, 2012).

En la RHA VI RB se localizan 102 acuíferos; de ellos, sólo 56 cuentan con su disponibilidad publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF). Se tienen 34 acuíferos sin disponibilidad, de los cuales 18 están sobreexplotados, de éstos 14 (78%) se ubican en el estado de Chihuahua, 2 en Coahuila y 2 en Nuevo León como se observa en la figura 1.5 (SEMARNAT, 2012).



Fuente: CONAGUA 2014

Figura 1.5 Disponibilidad de acuíferos según DOF. Fuente: Elaboración propia en base a (SEMARNAT, 2012).

Los 13 Distritos de Riego (DR) de la región son: 004 Don Martín Coahuila-Nuevo León, 005 Delicias Chihuahua, 006 Palestina Coahuila, 009 Valle de Juárez Chihuahua, 025 Bajo Río Bravo Tamaulipas, 026 Bajo Río San Juan Tamaulipas, 031 Las Lajas Nuevo León, 042 Buenaventura Chihuahua, 050 Acuña-Falcón Coahuila-Tamaulipas, 089 El Carmen Chihuahua, 090 Bajo Río Conchos Chihuahua, 103 Río Florido Chihuahua y 113 Alto Río Conchos Chihuahua distribuidos como se muestra en la figura 1.6 (SEMARNAT, 2012).

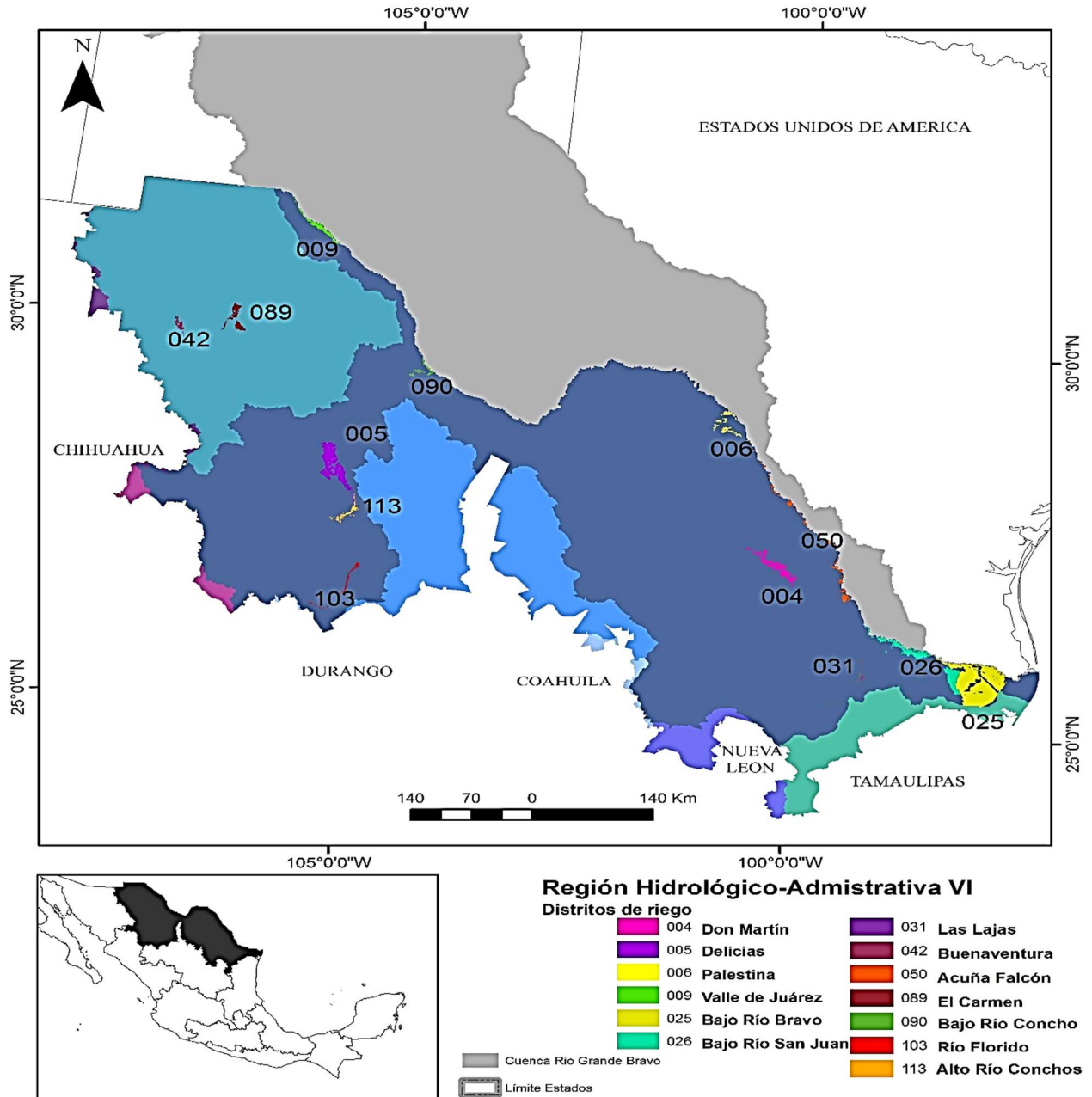


Figura 1.6 Principales distritos de riego de la región del río Bravo. Fuente: Elaboración propia en base a (INEGI, 2016).

I.3.3 Clima.

En esta región existen varios climas, identificándose alrededor de 13. En 20.9% del territorio el clima es semiseco; en 34.4%, seco; en 37.2% muy seco y en el 11.5% restante hay ocho tipos de clima como se aprecia en la figura 1.7 (SEMARNAT, 2012).

El clima en la porción del alto río Bravo/Grande es generalmente caliente y árido, y se vuelve más tropical en la parte sur (SEMARNAT, 2010).

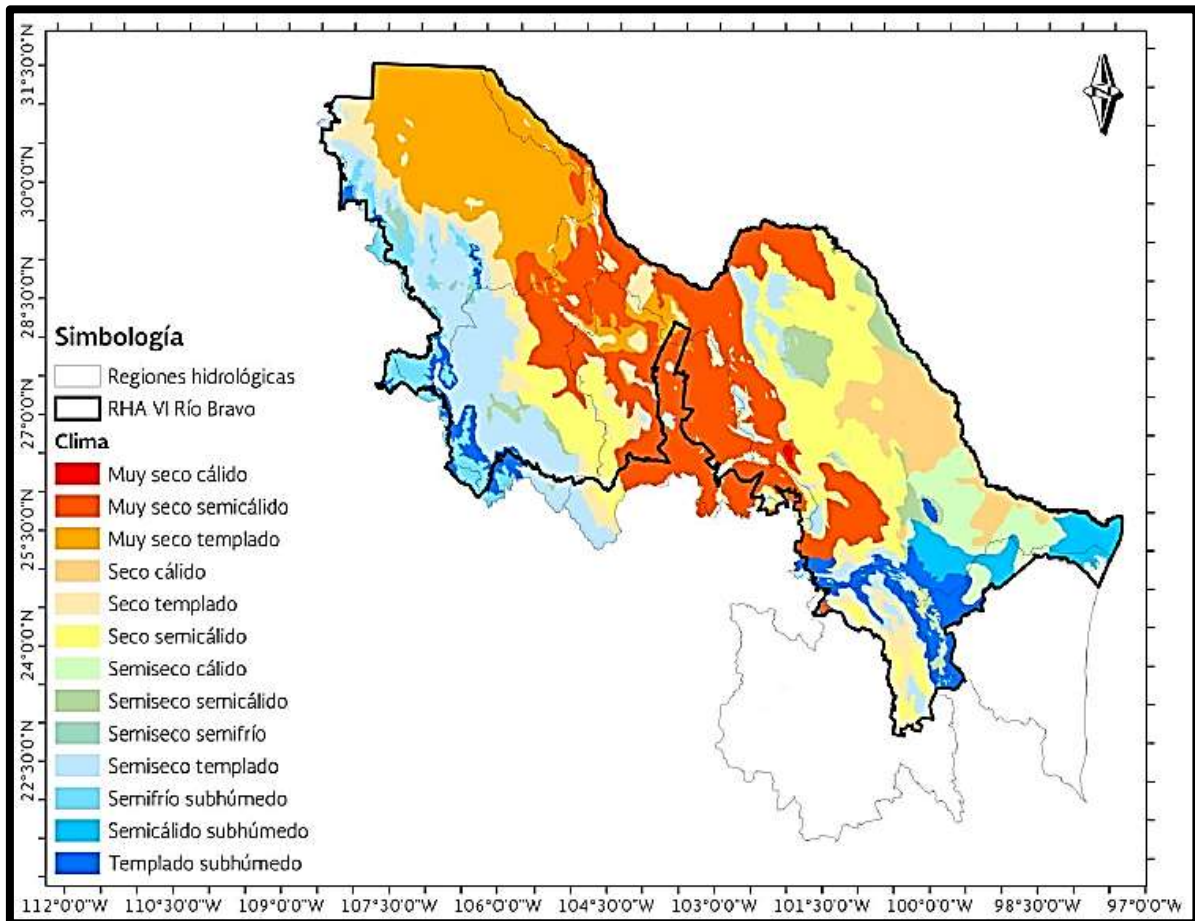
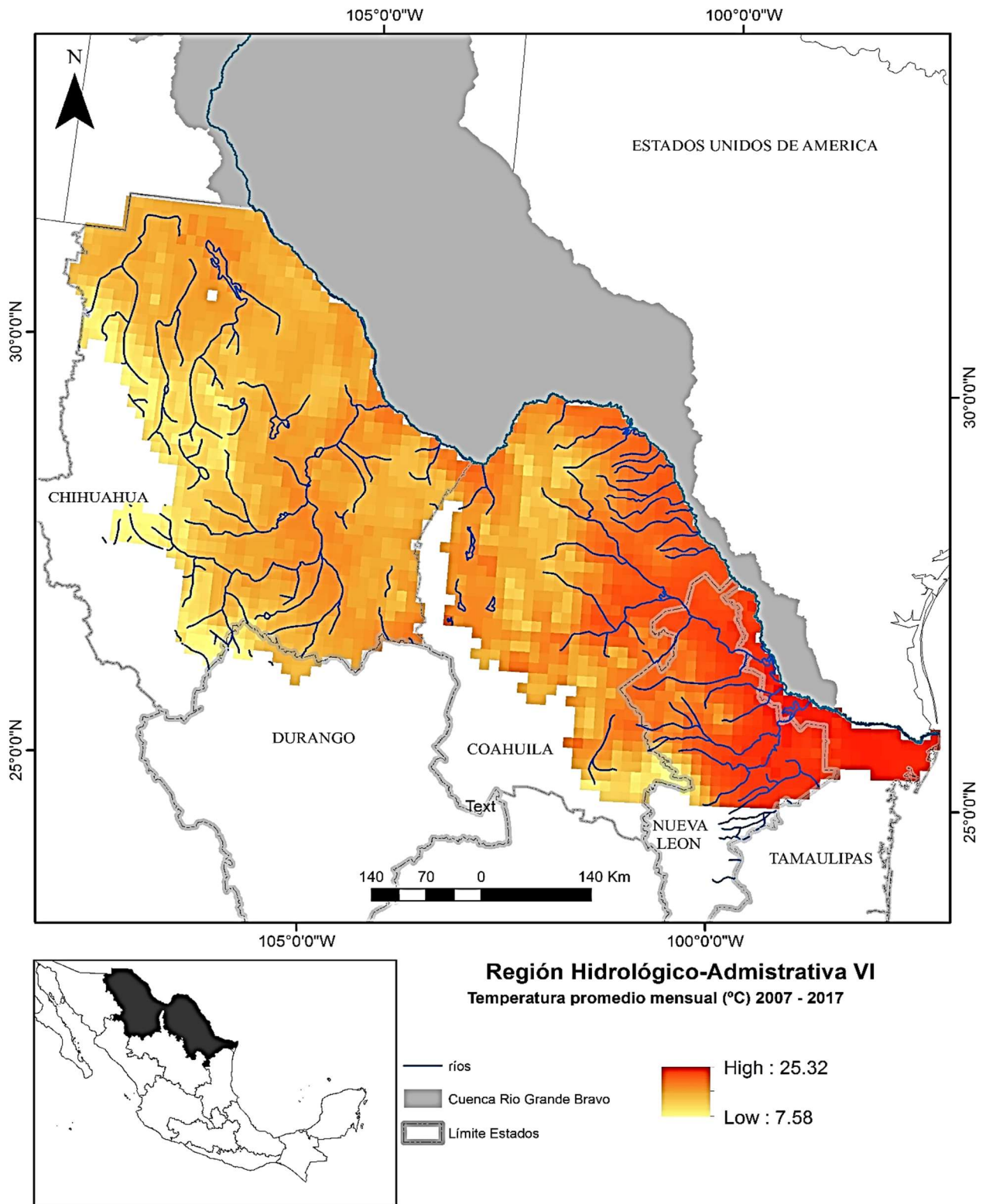


Figura 1.7 Principales climas de la RHA VI Río Bravo (elaborado a partir de INEGI, 2010).

I.3.4 Temperatura.

La temperatura media mensual predominante en el 50% de la superficie es de 26° C, como se aprecia en la figura 1.8 (Noah Land Surface Model, 2018).

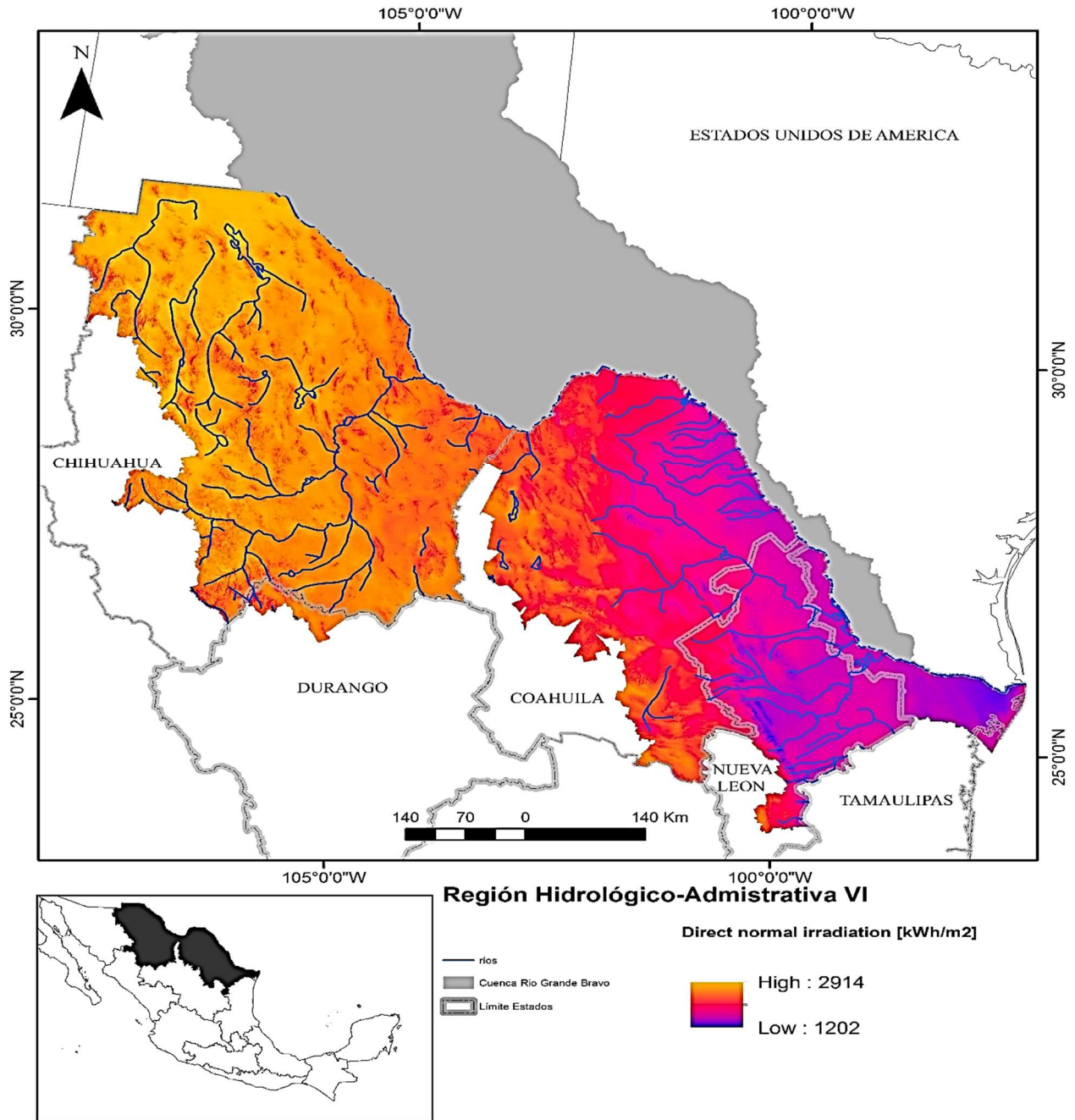


Fuente: NLDAS Noah Land Surface Model L4 Monthly 0.125 x 0.125 degree V002

Figura 1.8 Temperaturas promedio mensual para la Región Hidrológico-Administrativa VI. Fuente: Elaboración propia en base a (NLDAS, 2018).

I.3.5 Radiación Solar.

Otro parámetro que es importante destacar debido a que es vital para la obtención de la Huella Hídrica es la radiación solar, que para la Región Hidrológico-Administrativa VI presenta un valor promedio mensual de 2058 kWh/m², tal como se aprecia en la figura 1.9.



Fuente: GLOBAL SOLAR ATLAS 2018

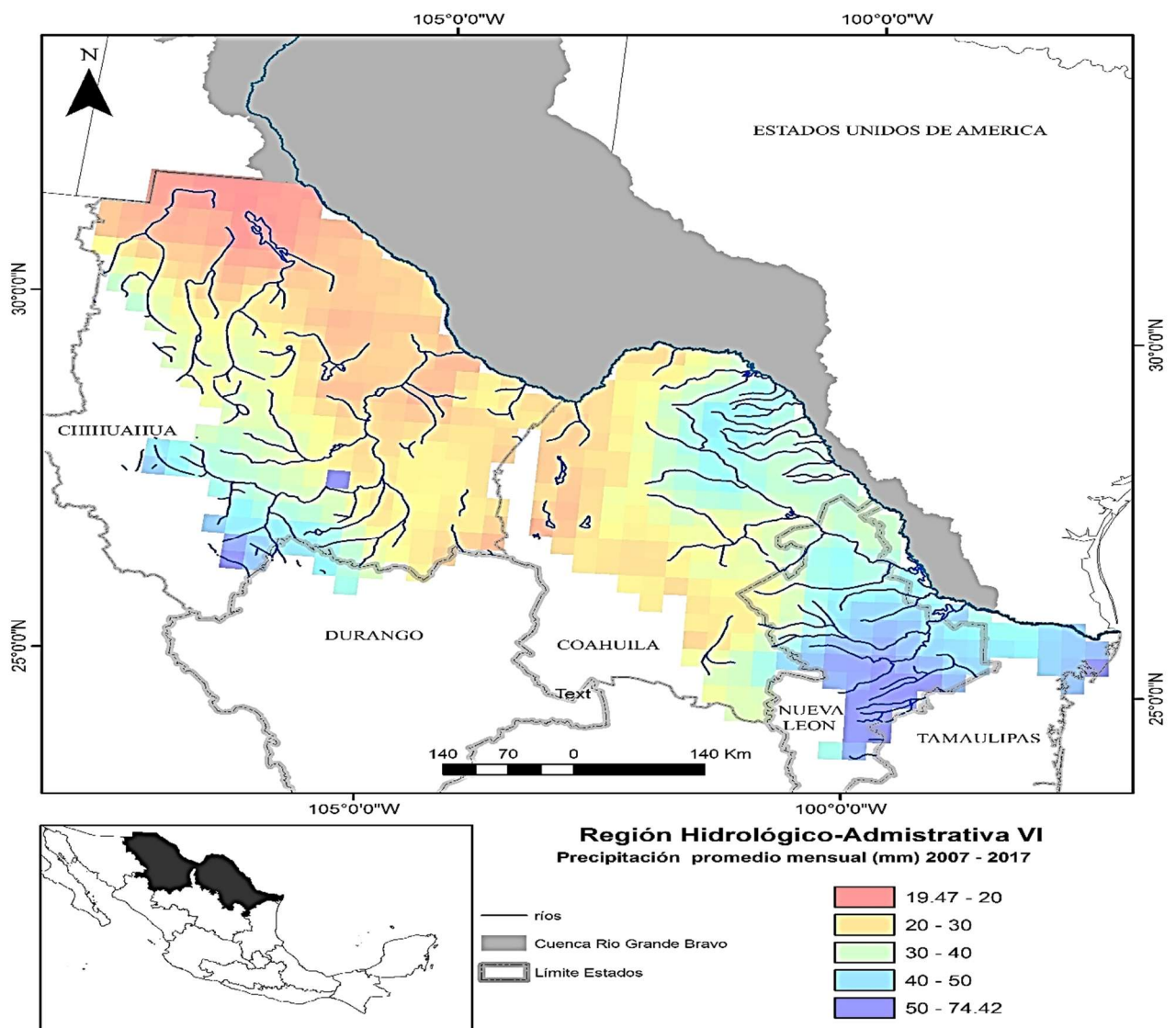
Figura 1.9 Radiación promedio mensual (kWh/m²) para la Región Hidrológico-Administrativa VI.
Fuente: Elaboración propia en base a (Global Solar Atlas, 2018).

I.3.6 Precipitación.

La precipitación media mensual de la región es de 480 mm (38% menor que la nacional de 777 mm). En la célula de planeación de Linares Nuevo León se presenta la mayor precipitación media anual (808 mm) y la menor en Encinillas Chihuahua. (308 mm) como se observa en la figura 1.10 (TRMM, 2018).

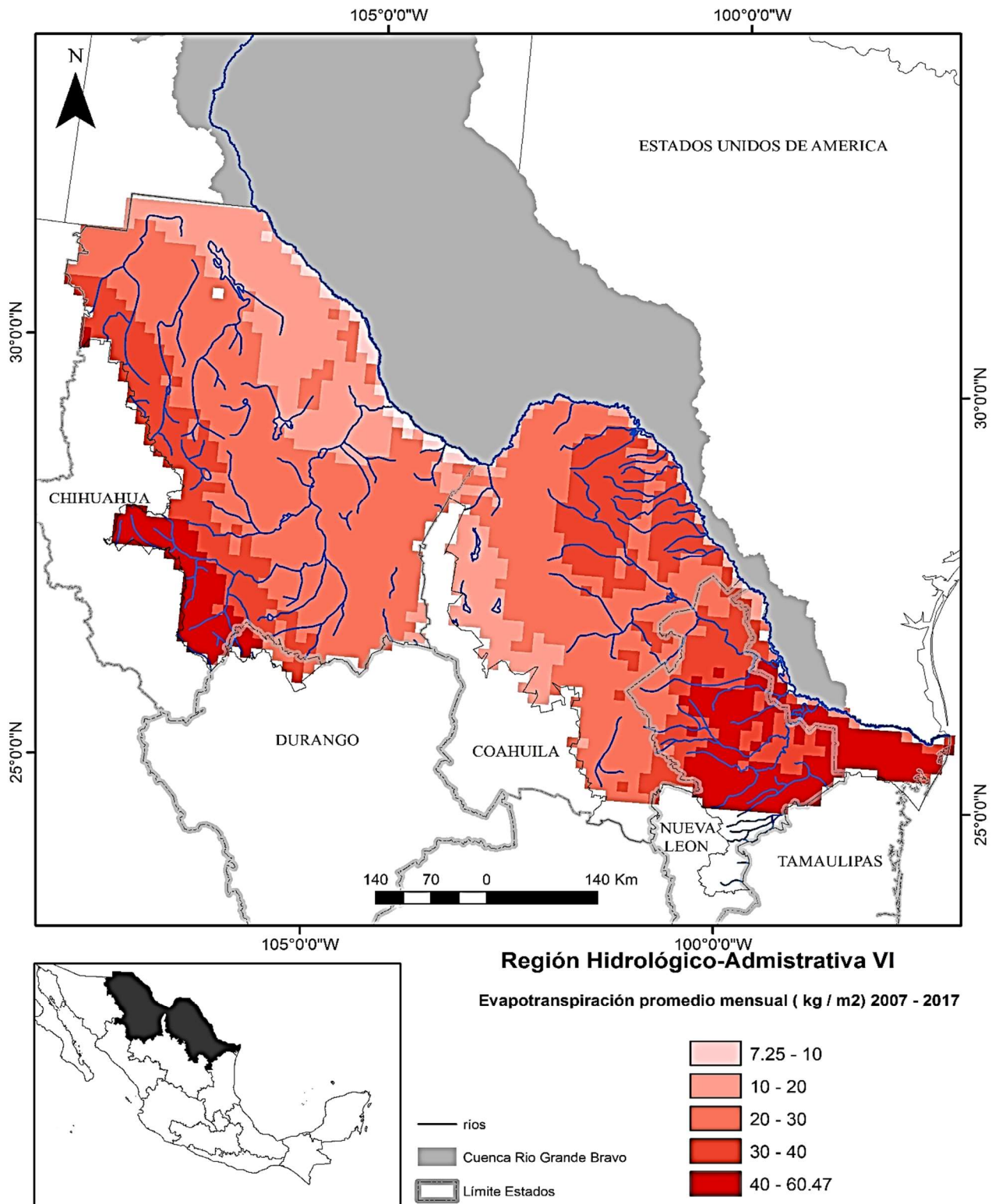
La evaporación supera los 1,800-2,000 mm anuales.

Otro aspecto importante que considerar dentro de esta investigación es la evapotranspiración, que para la RHA VI se registra un valor promedio mensual de 30 kg/m², como se aprecia en la figura 1.11 (Noah Land Surface Model, 2018).



Fuente: TRMM (TMPA/3B43) RAINFALL ESTIMATE L 3 1 MONTHS 0.25 degree x 0.25 degree V7.

Figura 1.10 Precipitación promedio mensual (mm). Fuente: Elaboración propia en base a (TRMM, 2018).



Fuente: NLDAS Noah Land Surface Model L4 Monthly 0.125 x 0.125 degree V002

Figura 1.11 Evapotranspiración promedio mensual (kg/m²). Fuente: Elaboración propia en base a (NLDAS, 2018).

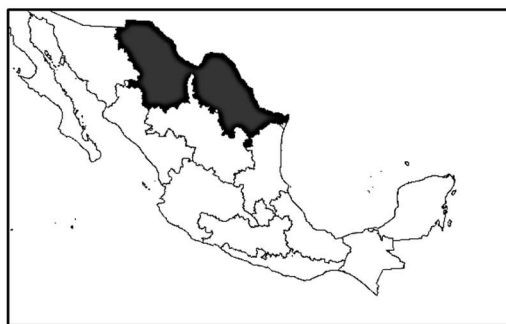
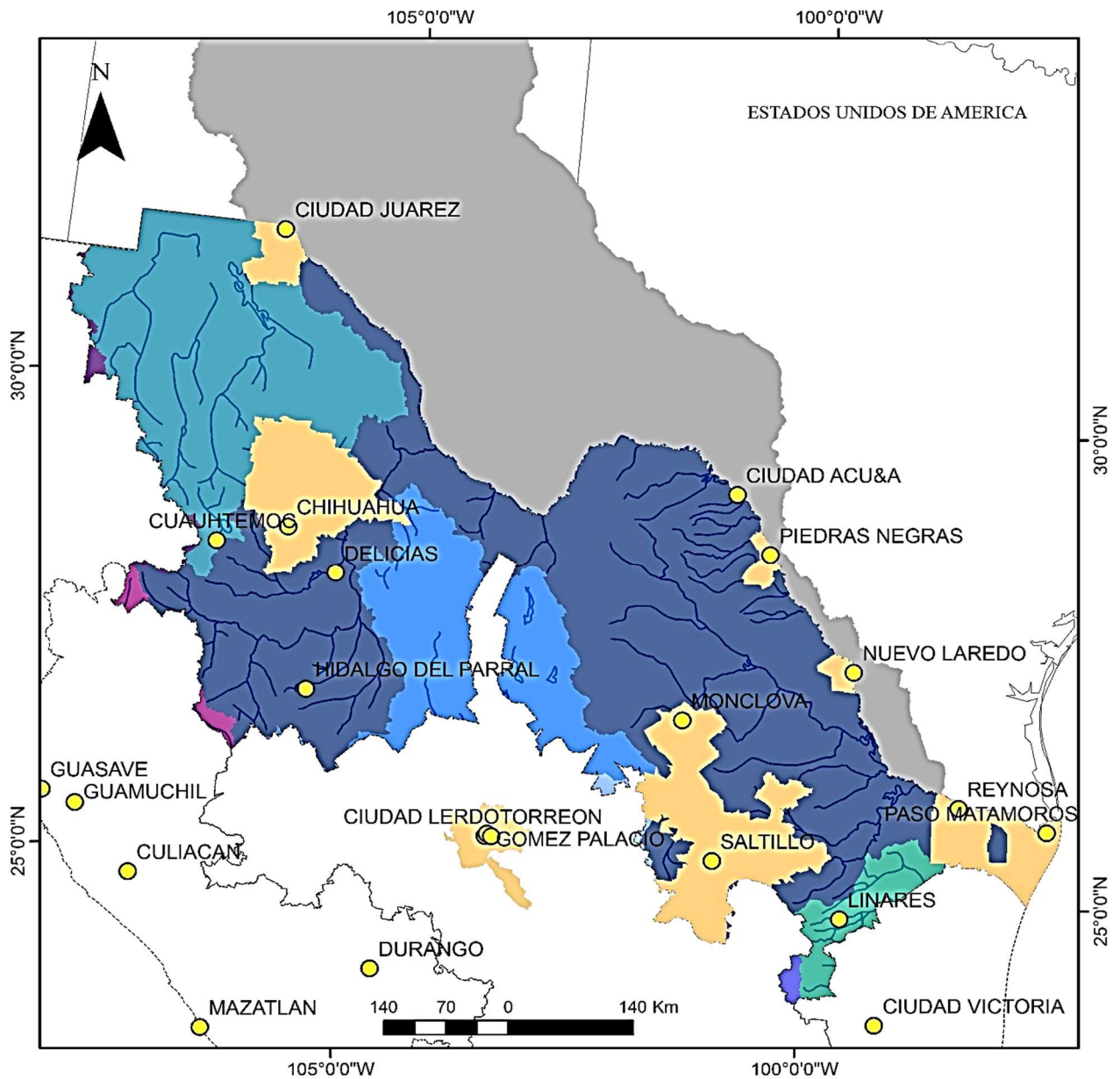
Un dato importante de mencionar, esta región se caracteriza por tener una alta variabilidad de precipitación de un año a otro, y se presentan en forma recurrente periodos prolongados de sequía. Se han identificado periodos muy secos en los años de 1952-57 y de 1993-2002, lo que ha repercutido de forma directa en las actividades agrícolas de la zona (SEMARNAT, 2012).

I.4 Demografía y actividades económicas.

La Demografía es una ciencia social que estudia el volumen, crecimiento y características de un grupo de población humana en un determinado tiempo (INEGI, 2011). La población total en la región del Río Bravo al 2005 se estima en 10'371,689 habitantes, lo que representa 10% de la población total del país; 49.4% son hombres y 50.6% mujeres. La región es predominantemente urbana, con 92.9% del total de la población concentrada en ciudades. Aun cuando 99.2% de las localidades son rurales, la población se concentra mayoritariamente en nueve zonas metropolitanas (ZM). Figura 1.12:

- ZM de Saltillo, conformada por tres municipios Arteaga, Ramos Arizpe y Saltillo en Coahuila,
- ZM de Monclova-Frontera, conformada por los municipios de Castaños, Frontera y Monclova en Coahuila,
- ZM de Chihuahua, integrada por tres municipios Aldama, Aquiles Serdán y Chihuahua en Chihuahua,
- ZM de Cd. Juárez, Chihuahua,
- ZM de Monterrey es la zona metropolitana más grande de la región conformada por 10 municipios aledaños al de Monterrey Nuevo León,
- ZM de Piedras Negras, incluye los municipios de Nava y Piedras Negras, y
- Tamaulipas Norte con tres zonas metropolitanas: Reynosa-Río Bravo, Matamoros y Nuevo Laredo.

Estas zonas metropolitanas concentran 78.8% del total de la población de la RHA VI RB como se aprecia en la figura 1.12.



Fuente: INEGI 2015

Región Hidrológico-Administrativa VI



Figura 1.12 Ciudades importantes en la Región Hidrológico-Administrativa VI. Fuente: Elaboración propia en base a (INEGI, 2015).

Además de las ocho entidades federativas, del lado estadounidense se localizan once grupos indígenas conocidos como “pueblos,” los cuales suelen tener derechos preferenciales sobre el agua (WET, 2001: 49).

Algo importante a tomar en cuenta es que en los últimos 50 años los principales centros urbanos de la cuenca se han convertido en un polo de crecimiento; se espera un aumento poblacional en los próximos 20 años que va desde 20% (CONAGUA 2010: 162) hasta casi 100% (HARC e ITESM, 2000: 808; Schwandt, 2002). Siete son las ciudades en la cuenca del río Bravo/Grande con una población mayor a 500 mil habitantes. De éstas, Monterrey tiene la mayor cantidad con cerca de 3.5 millones de habitantes (Tabla 1.2). Así, el estado de Nuevo León tiene el porcentaje más alto de población en la cuenca del río Bravo/Grande, con un 38% (WET, 2001: 54). Esto es importante pues repercute directamente con la disponibilidad y distribución del agua destinado a las actividades agrícolas, principalmente porque a mayor población mayor demanda de productos de tipo alimenticio.

Tabla 1.2 Ciudades de la cuenca del río Bravo /Conchos con una población mayor a 500 mil habitantes (elaborada con base en United States Census Bureau en http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_United_States_cities_by_population consultada el 15 julio, 2010).

Localidad	Población (2009)
Monterrey	3,650,152
Ciudad Juárez	1,301,452
Chihuahua	777,166
Saltillo	707,708
El Paso	420,447
Albuquerque	528,497
Reynosa	507,998

El Producto Interno Bruto (PIB) de los 144 municipios que integran la RHA VI, ascendió en el año 2008 a un billón 231 mil 492 millones de pesos (precios constantes de 2003). Esto significa que su contribución al PIB Total Nacional para ese mismo año es de 14.5%, lo cual la convierte, en la tercera RHA más importante del país (SEMARNAT, 2012).

Las principales actividades económicas en la cuenca incluyen la industria y el sector de servicios, la agricultura, la ganadería (una tercera parte de la producción ganadera de México se realiza en el norte del país; HARC e ITESM, 2000: 688), lo cual repercute de forma directa en la Huella Hídrica de la región, por el uso de cultivos forrajeros para el ganado y el turismo (Bravo et al., 2000).

I.5 Infraestructura Hidráulica: Presas.

Las obras hidráulicas que tiene registrado el Sistema de Información de Seguridad de Presas existen 381 presas principales operadas por los sectores oficial y no oficial con datos de capacidad por 16,061 hm³. Las 5 presas principales de la RHA VI RB representan más del 80% de la capacidad de almacenamiento. En orden descendente por su capacidad son: La Amistad, Coahuila (4,378 hm³), Falcón, Tamaulipas (3,912 hm³), La Boquilla, Chihuahua (2,903 hm³), El Cuchillo-Solidaridad, Nuevo León (1,123 hm³) y Marte R. Gómez, Tamaulipas. (995 hm³) (SEMARNAT, 2012). Como se aprecia en la figura 1.13.

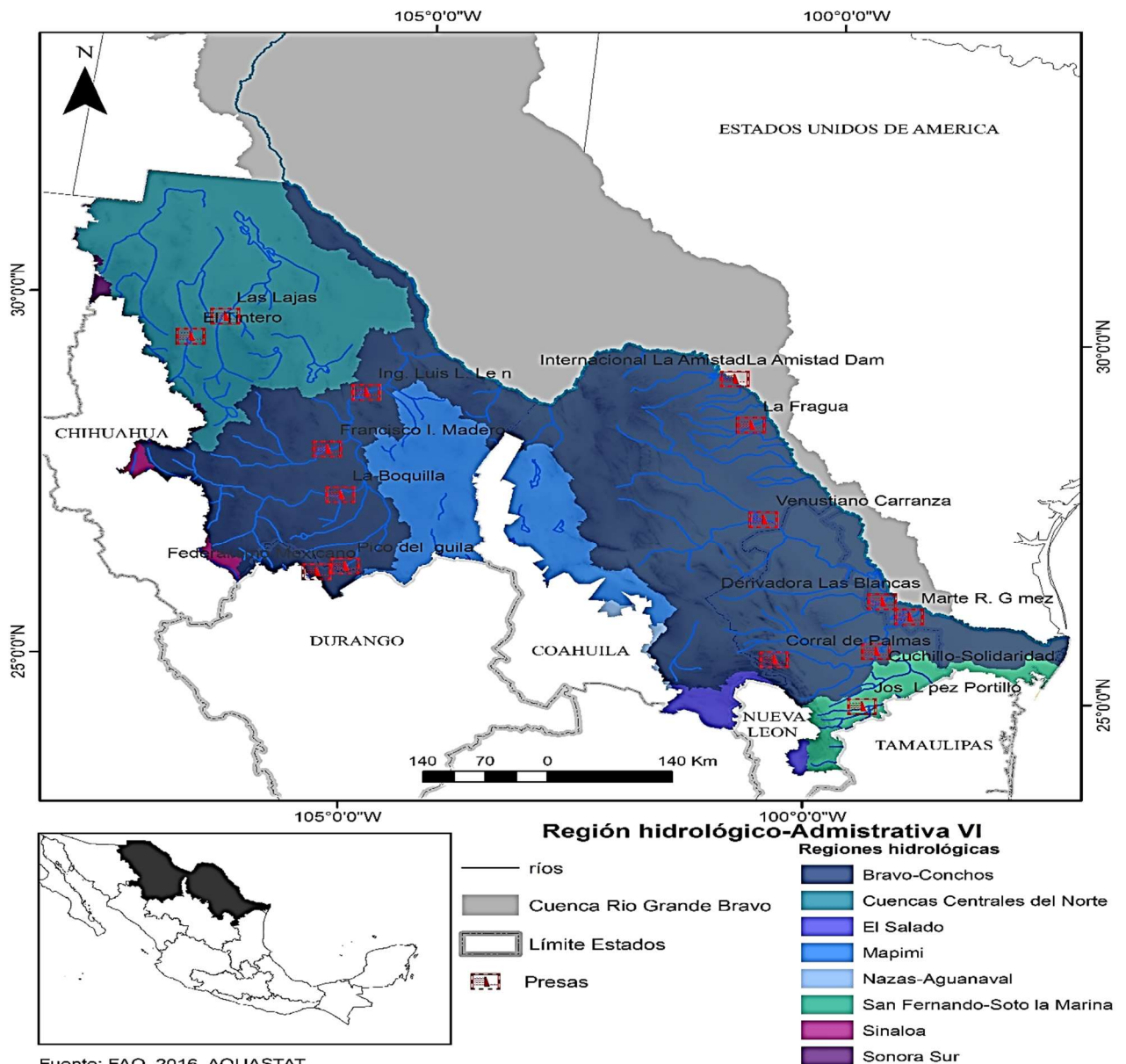
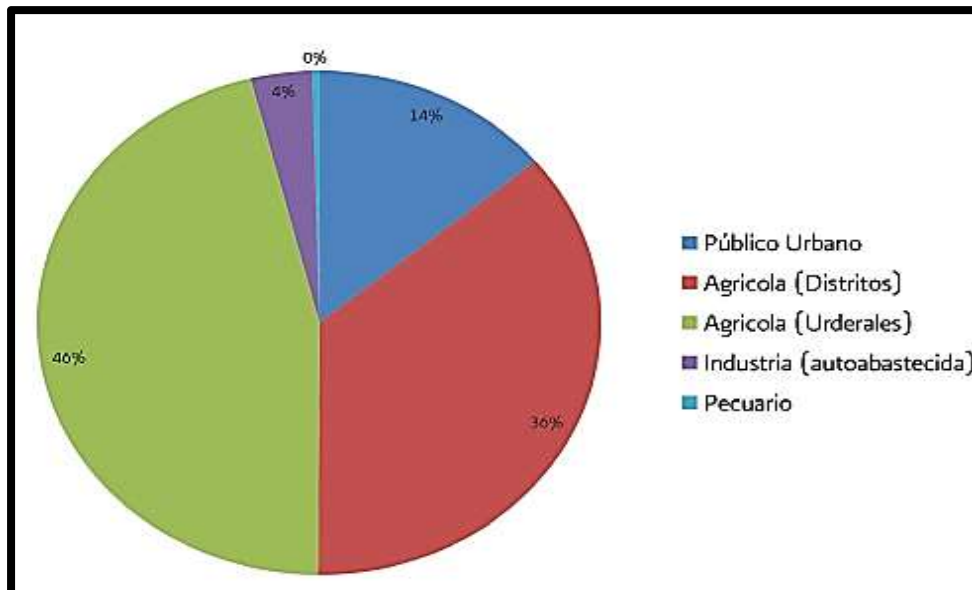


Figura 1.13 Principales presas en la Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo (AQUASTAT, 2016).

Es importante mencionar que en Estados Unidos de América las presas de Elephant Butte y Caballo Dam irrigan 178,000 acres (72,000 ha) y 160,000 acres (65,000 ha), respectivamente (SEMARNAT, 2010).

Usos del agua.

Debido a la importancia de esta investigación, se conoce que los volúmenes totales concesionados de la región para usos consuntivos son 9,248 hm³/año, 52% corresponde a agua superficial y 48% a agua subterránea como se aprecia en la gráfica 1.3 y tabla 1.3 (SEMARNAT, 2012).



Gráfica 1.3 Volumen concesionado para uso consuntivo (hm³) (REPDA 2009 OCRB 2005 y balances hídricos RH 24, 34, 25 y 37).

Tabla 1.3 Usos consuntivos del agua (hm³/año) (elaborada con base en REPDA 2009 OCRB 2005 y balances hídricos RH 24, 34, 25 y 37).

Usos consuntivos del agua (hm ³ /año)			
Uso	Superficial	Subterránea	Total
Público-urbano	547	733	1 280
Agrícola (distritos)	2 766	361	3 127
Agrícola (urderales)	1 445	3 032	4 477
Industria (autoabastecida)	66	258	324
Pecuario	10	30	40
Total	4 834	4 414	9 248
No consuntivos Hidroeléctricas	5 400		5 400

Servicios hidráulicos.

Existen 83 plantas potabilizadoras operando (Figura 1.14), con una capacidad instalada en conjunto de 26,372 lps. La planta potabilizadora más grande e importante por su capacidad es la planta San Roque, ubicada en el municipio Juárez N.L., con una capacidad instalada de 12,000 lps, equivalente al 45% de la capacidad de la RHA VI RB. Dentro del Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación 2009 (PTAR) existen 203 plantas, de las cuales 177 se encuentran activas que en conjunto tienen una capacidad instalada de tratamiento de 25,865 lps (SEMARNAT, 2012).

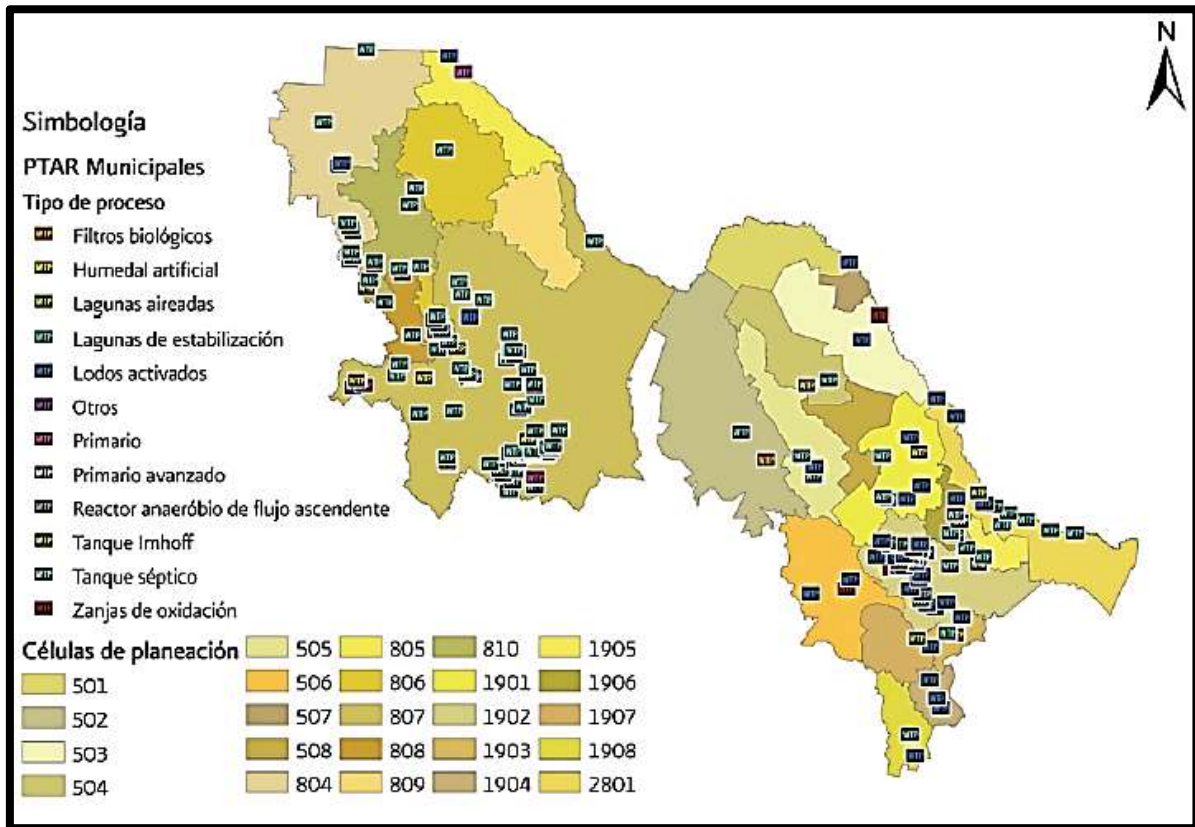


Figura 1.14 Localización de plantas de tratamiento de la RHA VI RB (SEMARNAT, 2012).

Además se cuenta con:

- Dos acueductos (Linares-Monterrey y El Cuchillo-Monterrey) que suman una capacidad de conducción total de 378.4 hm³/año.
- Tres túneles (San Francisco y Cola de Caballo I y II con una capacidad total de conducción de 100.9 hm³/año).



- 322 estaciones instaladas tanto de la red convencional (climatológicas e hidrométricas) de las cuales 72 son de la red telemétrica, que miden precipitación, evaporación, temperatura máxima y temperatura mínima, de forma diaria.
- 40 estaciones hidrométricas que miden el caudal diario de ríos, canales y presas.
- 65 sitios de monitoreo de calidad de agua.

Se tienen cuatro centrales hidroeléctricas (uso no consuntivo) con capacidad efectiva instalada de 126 MW (SEMARNAT, 2012).

Es de vital importancia tener conocimiento de las obras hidráulicas de la región, pues mucha del agua que se trata, almacena o conduce en estas, tiene como destino final, las parcelas dedicadas a la siembra de cultivos.

CAPITULO II. FISIOGRAFÍA DE LA REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA VI.

II.1 Delimitación de la zona de estudio.

Se hace necesario destacar nuevamente la zona de estudio de la Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo que comprende la totalidad del estado de Nuevo León y parte de los estados de Coahuila de Zaragoza, Chihuahua y Tamaulipas, con un total de 144 municipios.

Como vimos en el Capítulo I, además de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos, incluye además la 34 Cuencas Cerradas del Norte y parcialmente las 25 San Fernando-Soto La Marina, 35 Mapimí, 37 El Salado y otras regiones en menos proporción.

II.2 Red de drenaje.

En la figura 2.1 se observa la delimitación de la cuenca del Río Bravo en donde se puede visualizar el parteaguas, el cauce principal y la red de drenaje obtenidos con el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (SIATL, 2017).

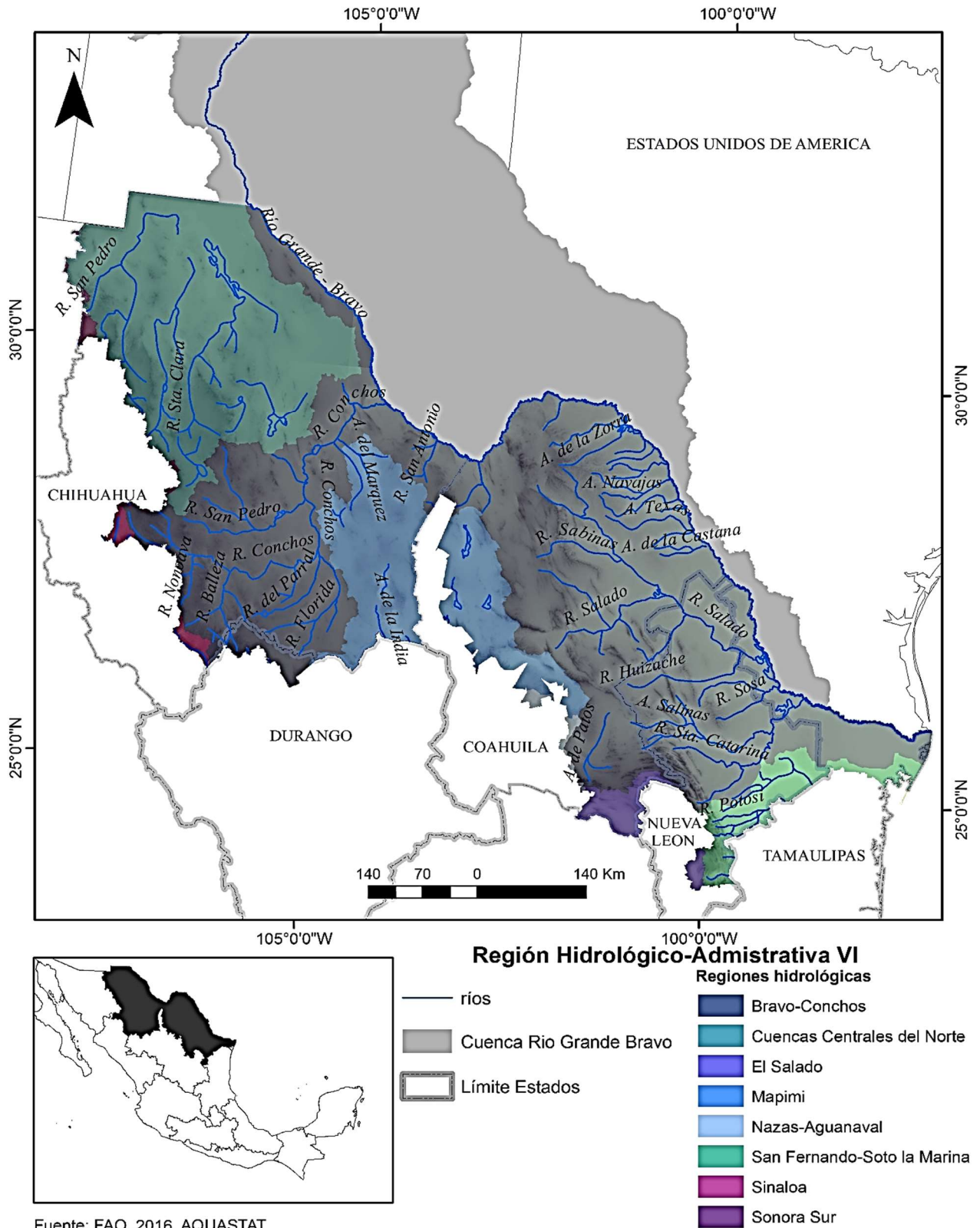


Figura 2.1 Delimitación y red de drenaje de la cuenca del Río Bravo. (SIATL, 2017).

II.2.1 Longitud y pendiente media del cauce principal.

Una vez que se realizó la delimitación de la zona de estudio y la red de drenaje, se obtuvieron los resultados de la longitud y pendiente media del cauce principal del Río Bravo como se indica en la tabla 2.1 (SIATL, 2017).

Tabla 2.1 Indicadores del cauce principal del Río Bravo.

Propiedad	Valor
Elevación máxima	1500 m
Elevación media	1159 m
Elevación mínima	818 m
Longitud	87258 m
Pendiente Media	0.7815 %
Tiempo de Concentración	802.26 (minutos)
Área Drenada	1480.36 km ²
Periodo de Retorno	1000 años
Coefficiente de escurrimiento	0.20
Lluvia	308 mm
Intensidad de Lluvia	23.03 mm/h
Caudal pico	1894.03 m ³ /s

Fuente: Elaboración propia en base a (SIATL, 2017).

Nota: Ninguno de los valores de la tabla 2.1 se utilizarán para cálculos posteriores.

En la figura 2.2 se observa el perfil de elevaciones del cauce principal de la cuenca del Río Bravo (SIATL, 2017).

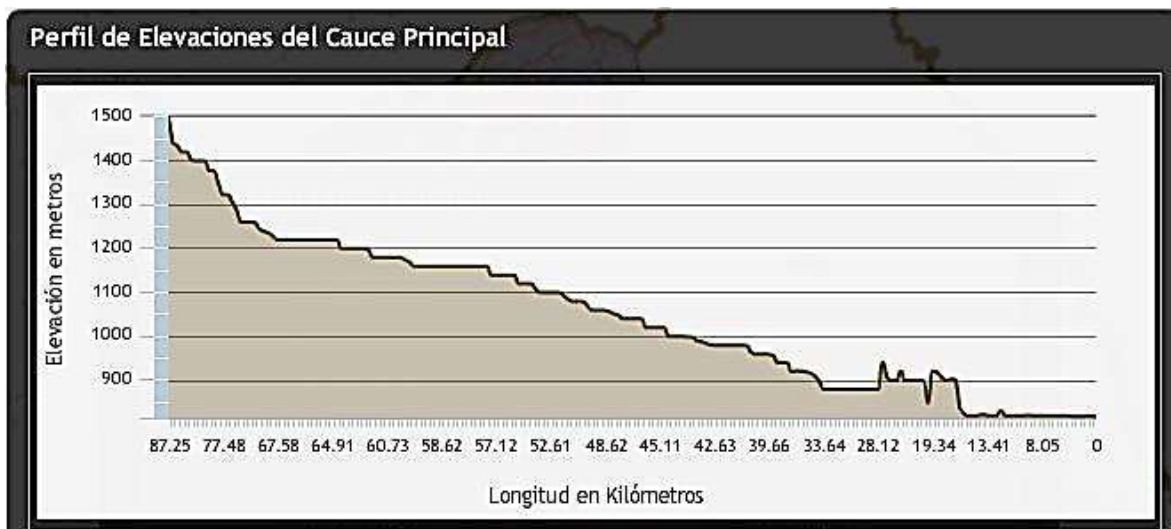


Figura 2.2 Perfil de elevaciones del cauce principal (SIATL, 2017).

II.3 Red Pluviométrica.

Se cuenta con la ubicación de las diferentes estaciones hidrométricas dentro de la Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo como se muestra en la figura 2.3.

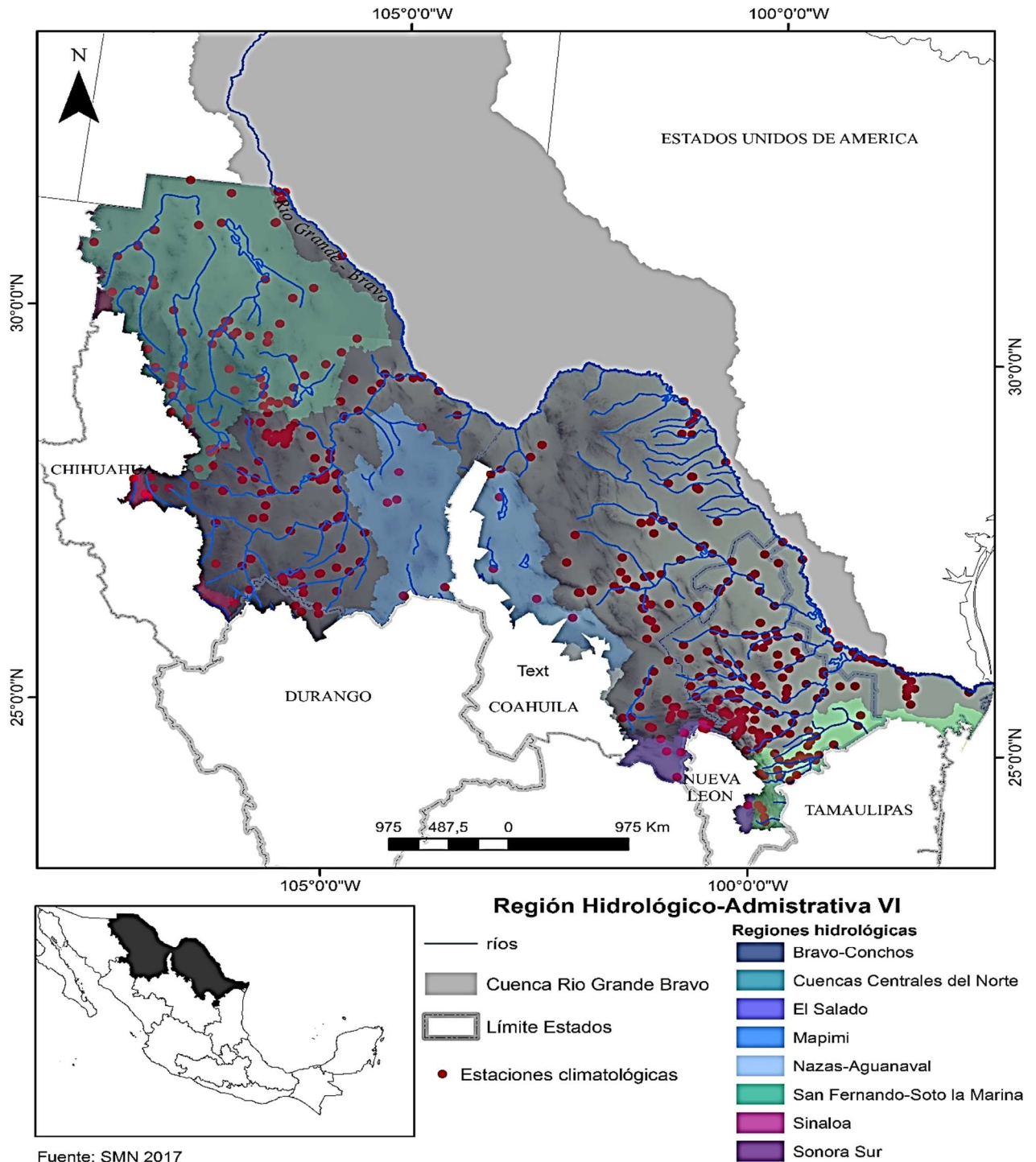


Figura 2.3 Red pluviométrica de la Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo. Elaboración propia en base a (Google Earth, 2015).

II.3.1. Estaciones pluviométricas de la zona de estudio.

En las Tablas 2.2 a la 2.14 se visualizan las estaciones pluviométricas de toda la Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo. Especificando cada Distrito de Riego, así como el Estado de la Republica donde se encuentra. Información importante de detallar para la obtención de parámetros climáticos requeridos para calcular la Huella Hídrica.

Tabla 2.2 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 004 Don Martín, Nuevo León.

Núm.	Estación	Ubicación
5030	PRESA VENUSTIANO CARRANZA	Nuevo León
19024	GRANJA EXPERIMENTAL	Nuevo León
19055	SALINILLAS, ANAHUAC	Nuevo León
19072	CAMARON, ANAHUAC	Nuevo León
19152	NUEVO RODRIGUEZ	Nuevo León

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.3 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 005 Delicias, Chihuahua.

Núm.	Estación	Ubicación
8019	CANAL PRINCIPAL (KM. 135)	Chihuahua
8044	CIUDAD DELICIAS (DGE)	Chihuahua
8092	LAS BURRAS, JULIMES	Chihuahua
8014	CAMPO AGR. EXPERIMENTAL	Chihuahua
8027	CIUDAD DELICIAS (SMN)	Chihuahua
8083	JULIMES, JULIMES	Chihuahua
8102	MEOQUI, MEOQUI	Chihuahua
8120	PLANTA ROSETILLA, MEOQUI	Chihuahua
8135	SAUCILLO, SAUCILLO	Chihuahua
8174	INDUSTRIAS UNIDAS	Chihuahua
8199	KM. 99 CANAL PRINCIPAL	Chihuahua
8202	PRESA FRANCISCO I. MADERO	Chihuahua
8300	EL SOCORRO, ROSALES	Chihuahua
8304	ESC. DE AGR. DELICIAS	Chihuahua

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.4 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 006 Palestina, Coahuila.

Núm.	Estación	Ubicación
5023	PALESTINA, JIMENEZ (DGE)	Coahuila
5068	PALESTINA, JIMENEZ (SMN)	Coahuila
5085	P. CENTENARIO, JIMENEZ	Coahuila
5086	P. SN. MIGUEL, JIMENEZ	Coahuila
5186	CABECERAS, JIMENEZ	Coahuila

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.5 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 009 Valle de Juárez, Chihuahua.

Núm.	Estación	Ubicación
8006	BANDERAS GPE.	Chihuahua
8030	JUAREZ, JUAREZ	Chihuahua
8121	SAMALAYUCA, JUAREZ	Chihuahua
8283	CD. JUAREZ, JUAREZ	Chihuahua
8290	SAMALAYUCA D.B., JUAREZ	Chihuahua
8213	CIUDAD JUAREZ (CILA), JUAREZ	Chihuahua
8318	E.S.A. JUAREZ, JUAREZ	Chihuahua

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.6 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 025 Bajo Río Bravo, Tamaulipas.

Núm.	Estación	Ubicación
28048	LA PIEDAD, SAN FERNANDO	Tamaulipas
28082	S.J. 3 RÍO BRAVO, R. BRAVO	Tamaulipas
28101	S.J. 2-33 REYNOSA	Tamaulipas
28104	S.J. 3-47, RÍO BRAVO	Tamaulipas
28105	S.J. 3-55, REYNOSA	Tamaulipas
28106	S.J. 3-58, REYNOSA	Tamaulipas
28107	S.J. 3-60, REYNOSA	Tamaulipas
28108	S.J. 3-63, TAPON, RÍO BRAVO	Tamaulipas
28128	REYNOSA, REYNOSA (GDE)	Tamaulipas
28131	MATAMOROS, MATAMOROS	Tamaulipas

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.7 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 026 Bajo Río San Juan, Tamaulipas.

Núm.	Estación	Ubicación
19113	EL BRASIL, DOCTOR CROSS	Tamaulipas
19114	EL CUERVITO, GRAL. BRAVO	Tamaulipas
28014	S.J. 2-11 CAMARGO, CAMARGO	Tamaulipas
28079	REYNOSA, REYNOSA (SMN)	Tamaulipas
28093	S.J. 2-18 SAN MIGUEL	Tamaulipas
28099	S.J. 2-9 COMALES, CAMARGO	Tamaulipas
28100	S.J. 2-29, GUSTAVO DIAZ O.	Tamaulipas
28102	S.J. 2-38, GUSTAVO DIAZ O.	Tamaulipas
28103	S.J. 3-42, REYNOSA	Tamaulipas
28121	S.J. 2-23, VALADECES	Tamaulipas
28155	S.J. 1-2 MIGUEL ALEMAN	Tamaulipas
28172	S-J-2 PRESA DIAZ ORDAZ	Tamaulipas

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.8 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 031 Las Lajas, Nuevo León.

Núm.	Estación	Ubicación
19016	EL CUCHILLO, CHINA	Nuevo León
19022	GENERAL BRAVO (DGE)	Nuevo León
19039	LAS ENRAMADAS	Nuevo León
19040	LOS ALDAMAS, LOS ALDAMAS	Nuevo León
19041	LOS HERRERAS, L. HERRERAS	Nuevo León
19043	MADERO, DR. CROSS	Nuevo León
19074	GENERAL BRAVO (SMN)	Nuevo León
19140	TEPEHUAJE, CADEREYTA	Nuevo León

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.9 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 042 Buenaventura, Chihuahua.

Núm.	Estación	Ubicación
8010	BUENAVENTURA, BUENAVENTURA	Chihuahua
8066	GALEANA, GALEANA	Chihuahua

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.10 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 050 Acuña Falcón, Tamaulipas.

Núm.	Estación	Ubicación
5002	ALLENDE, ALLENDE (SMN)	Tamaulipas
5025	PIEDRAS NEGRAS, PIEDRAS N.	Tamaulipas
5042	ZARAGOZA, ZARAGOZA (SMN)	Tamaulipas
5043	ALLENDE, ALLENDE (DGE)	Tamaulipas
5063	ALLENDE, E.T.A. 186	Tamaulipas
5074	ZARAGOZA, ZARAGOZA	Tamaulipas
5075	ALLENDE II, ALLENDE	Tamaulipas
19097	COLOMBIA, COLOMBIA	Tamaulipas
19107	SAN NICOLAS, CD. ANAHUAC	Tamaulipas
19125	JARITAS, CIUDAD ANAHUAC	Tamaulipas
28065	NVO. LAREDO, NVO. LAREDO	Tamaulipas

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.11 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 089 el Carmen, Chihuahua.

Núm.	Estación	Ubicación
8046	EJIDO FLORES MAGON B.	Chihuahua
8086	LA CABALLADA, V. AHUMADA	Chihuahua
8089	LA CHICHARRA, BUENAVENTURA	Chihuahua
8091	LA TRASQUILLA	Chihuahua
8093	LAS LAJAS (DGE)	Chihuahua
8094	LAS VARAS, BUENAVENTURA	Chihuahua
8115	PRESA LAS LAJAS (DGE)	Chihuahua
8119	EJIDO R. F. MAGON	Chihuahua
8242	SAN ISIDRO, BUENAVENTURA	Chihuahua
8332	LAS LAJAS (SMN)	Chihuahua
8347	CONSTITUCIÓN	Chihuahua

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.12 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 090 Bajo Río Conchos, Chihuahua.

Núm.	Estación	Ubicación
8031	OJINAGA, OJINAGA (SMN)	Chihuahua
8023	CORRALES E.S.C.U.G.R.C.H.	Chihuahua
8051	EL MESQUITE, OJINAGA	Chihuahua
8241	PRESA TARAHUMARA, OJINAGA	Chihuahua
8254	OJINAGA, OJINAGA (DGE)	Chihuahua

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.13 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 103 Río Florido, Chihuahua.

Núm.	Estación	Ubicación
8081	CIUDAD JIMENEZ (DGE)	Chihuahua
8029	CIUDAD JIMENEZ (SMN)	Chihuahua
8151	VALLE DE ALLENDE, ALLENDE	Chihuahua
8156	VILLA CORONADO (DGE)	Chihuahua
8186	PRESA TORREONCILLOS	Chihuahua
8194	VILLA LOPEZ (SMN)	Chihuahua
8257	SALICES EST. 4 A. ETA 168	Chihuahua
8260	VALLE DE ALLENDE	Chihuahua
8317	VILLA MATAMOROS	Chihuahua
10061	ROSARIO, MELCHOR OCAMPO	Chihuahua
10062	S. ANTONIO, M. OCAMPO	Chihuahua
10141	CANUTILLO, OCAMPO	Chihuahua

Elaboración propia con base a (Google Earth).

Tabla 2.14 Estaciones pluviométricas del Distrito de Riego 113 Alto Río Conchos, Chihuahua.

Núm.	Estación	Ubicación
8013	CAMARGO, CAMARGO (CFE)	Chihuahua
8025	CAMARGO, CAMARGO (SMN)	Chihuahua
8085	LA BOQUILLA PRESA, S.F.C.	Chihuahua
8108	OJO CALIENTE, CAMARGO	Chihuahua
8162	CAMARGO, CAMARGO (DGE)	Chihuahua
8250	ESC. SEC. CAMARGO	Chihuahua
8306	BOQUILLA, CAMARGO	Chihuahua
8311	COLINA, SAN FCO. CONCHOS	Chihuahua

Elaboración propia con base a (Google Earth).

II.4 Recopilación de información de la Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo.

Los aspectos climatológicos que se consideraron para este estudio son datos de precipitación (mm), temperatura máxima (°C) y temperatura mínima (°C), todos siendo promedios mensuales para cada Distrito de Riego. En las Tablas 2.15 y 2.16 se observan las precipitaciones y temperaturas mínimas promedio mensuales respectivamente del Distrito de Riego 004 Don Martín a manera de ejemplo. Estos datos fueron obtenidos del software “Extractor rápido de información climatológica (ERIC III). Creado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

De igual forma se obtuvieron datos referentes a velocidades del viento (m/s), humedades relativas (%) y radiación solar (W/m²), promedio mensual. Estos datos fueron obtenidos de las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA's). Las cuales son supervisadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). En las Tablas 2.17 y 2.18 se aprecian los valores promedios mensuales de velocidad del viento y humedad relativa, así como los valores promedios mensuales de radiación solar para el Distrito de Riego 004 Don Martín a manera de ejemplo.

Tabla 2.15 Precipitación promedio mensual (mm) del Distrito de Riego 004 Don Martín, Nuevo León.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Prom	15	17	15	28.4	52.2	46.7	30.4	43.1	72	39.8	16	25.3
Prom	18.6	19.7	16.3	28.6	62.9	52	35.8	61.1	84.8	46.3	19.9	18.5
Prom	16.8	18.7	19.2	30.9	57.8	47.6	25.8	52.4	82.1	51.4	18.3	15.9
Prom	7.9	11.2	12.6	27.7	59	55	71.8	85.1	98.8	37.3	15.6	15.1
Prom	12.4	22	36.5	18.5	30.8	54.1	82.9	25.2	135.7	82.7	14.7	23
	14.14	17.72	19.92	26.82	52.54	51.08	49.34	53.38	94.68	51.5	16.9	19.56

Elaboración propia con base a (ERIC III {Software}, 2010).

Tabla 2.16 Temperatura promedio mensual (°C) del Distrito de Riego 004 Don Martín, Nuevo León.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Prom	5	6.9	10.7	15.2	19.3	21.8	22.6	22.5	20.4	15.8	10.1	5.8
Prom	6	8.2	12.3	16.8	20.6	22.9	23.9	24.1	21.8	17.1	10.9	6.9
Prom	5.2	7.6	11.3	16	20.1	22.8	23.5	23.4	21.1	16.2	10.2	6
Prom	7.4	8.6	10	13.5	15.6	16.3	16.5	18.4	16.5	13.9	10.6	7.3
Prom	7.5	8.6	14.2	18.4	22.2	24.6	24.7	24.7	22.5	18.7	12	6.5
	6.22	7.98	11.7	15.98	19.56	21.68	22.24	22.62	20.46	16.34	10.76	6.5

Elaboración propia con base a (ERIC III {Software}, 2010).

Tabla 2.17 Velocidades del viento (m/s) y humedades relativas (%) promedio mensuales del Distrito de Riego 004 Don Martín, Nuevo León.

	Velocidad del Viento	Humedad Relativa
Enero	3.1	65
Febrero	4.0	59
Marzo	3.3	63
Abril	3.5	64
Mayo	3.7	71
Junio	3.2	65
Julio	2.9	58
Agosto	3.0	49
Septiembre	3.2	67
Octubre	3.0	64
Noviembre	3.5	62
Diciembre	3.2	70

Elaboración propia con base a (Servicio Meteorológico Nacional, 2010).

Tabla 2.18 Radiación solar promedio mensual (W/m²) del Distrito de Riego 004 Don Martín, Nuevo León.

Mes/Año	2014	2015	2016	2017
Enero	7.69	10.46	10.72	10.72
febrero	11.56	10.27	11.32	7.54
marzo	12.16	12.22	12.17	12.12
Abril	12.86	12.38	12.90	12.90
Mayo	13.33	13.32	13.55	13.53
Junio	14.06	13.98	14.06	14.04
Julio	13.19	13.83	13.19	13.82
Agosto	12.85	13.20	12.85	12.84
Septiembre	12.18	12.40	12.18	12.17
Octubre	10.72	11.67	11.55	10.68
Noviembre	8.72	8.72	12.15	8.72
Diciembre	9.81	9.81	10.78	9.79

Elaboración propia con base a (Servicio Meteorológico Nacional, 2010).

De igual manera en la tabla 2.19 se puede observar la fuente de cada variable empleada en esta investigación, para cada método de obtención de la Huella Hídrica, especificando además las unidades y la escala de tiempo en que fueron utilizadas.

Tabla 2.19 Información utilizada en el presente estudio.

Variables	Fuente	Unidad	Escala de tiempo	Thornthwaite	Penman-Monteith	Balance de masas
Áreas	Orive de Alba	m ²	Mensual	Si		
	Ric Jensen	m ²	Mensual	Si		
	Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego	m ²	Mensual		Si	
Precipitación	PRISM	mm	Mensual	Si		
	ERIC III	mm	Mensual		Si	
Temperatura	PRISM	°C	Mensual	Si		
	ERIC III	°C	Mensual		Si	
Latitud	Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego	Grados	Mensual	Si		
Coeficiente Kc	FAO	Adimensional	Valores únicos		Si	
	Cravioto & Lowry	Adimensional	Valores únicos	Si		
Humedad relativa	EMA's	%	Mensual		Si	
Radiación solar	EMA's	W/m ²	Mensual		Si	
Velocidad del viento	EMA's	m/s	Mensual		Si	
Rendimiento del cultivo	Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego	Ton/ha	Anual		Si	
Productividad del cultivo		Toneladas	Anual		Si	
Eficiencias del sistema en las redes de distribución	Informes de eficiencia	%	Valores unicos		Si	
Irrigación	Informes de eficiencia	%	Valores unicos		Si	
Retornos	Informes de eficiencia	%	Valores unicos		Si	
Perdidas canales	Informes de eficiencia	%	Valores unicos		Si	
Perdidas bocatoma	Informes de eficiencia	%	Valores unicos		Si	
Caudales observados	Cravioto & Lowry		Mensual			Si
Evaporaciones	Orive de Alba		Mensual			Si

Elaboración propia.

CAPÍTULO III. CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL.

III.1 Definición, métodos de cálculo.

En primera instancia se hace importante mencionar, que la Huella Hídrica total se compone de la sumatoria de las huellas hídricas verde, azul y gris (Hoekstra A., Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011). Especificando que para esta investigación únicamente se calcularon la Huella Hídrica Azul y Verde, esto debido a que la Huella Hídrica Gris considera otros parámetros.

La huella hídrica azul es un indicador del uso consuntivo de agua dulce superficial o subterránea. Es decir, del agua que se evapora, que se incorpora a un producto y se devuelve a otra zona de captación o al mar, o bien, se retira en un periodo seco y se retorna en época de lluvias. Proporciona una medida del volumen de agua azul disponible que ha sido consumida por actividades humanas. En esta investigación se calcularon volúmenes de Huella Hídrica Azul (litros/kilogramo) de actividades agrícolas.

III.1 Obtención de la Huella Hídrica Azul histórica, en función de caudales naturales.

A continuación, se explican las actividades desarrolladas en el proceso de investigación, con el fin de responder a los objetivos particulares planteados en el trabajo en cuanto a determinación de huella hídrica azul se refiere:

De entrada, es importante hacer mención que la zona de estudio (Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo), se eligió por su poca disponibilidad de agua y ubicación estratégica dentro del país. Como se aprecia en la figura 3.1. Además de compartir su flujo con los Estados Unidos de América.



Figura 3.1. Disponibilidad de agua en México por Región Hidrológico-Administrativa (CNA, 2010).

Basándonos en estudios y tesis realizados en colaboración con la Universidad de California, Davis, se encontró un método que contempla la obtención de caudales naturales y usos consuntivos, para con ello obtener valores de Huella Hídrica Azul. Esto para el periodo histórico comprendido de 1900 a 1943. Para posteriormente comparar valores históricos de Huella Hídrica con valores actuales de Huella Hídrica (2003-2017). Proceso que se lleva a cabo posteriormente.

Es importante puntualizar, que el estudio se realizó a partir de la confluencia del Río Conchos. Para dicho estudio, previamente se trabajó en conjunto con la Universidad Estatal de Utah (Utah State University), quienes colaboraron con un estudio del caudal natural desde el Colorado, lugar donde nace el RBG hasta aguas arriba de la confluencia con el Río Conchos en el Valle de Ojinaga / Presidio.

Sabiendo lo anterior, en primera instancia nos enfocamos únicamente en el cálculo del caudal natural a partir del Río Conchos hasta el Golfo de México, donde se encuentra la desembocadura, sitio en el cual llegará la suma de ambos caudales naturales, dando como resultado el caudal natural del RBG, el análisis se realizó de forma mensual (Escorcía, 2016).

La metodología que se utilizó para la elaboración de este apartado consistió en realizar balances de masas partiendo de los caudales naturales históricos de los headflows (caudales de cabecera) en los tributarios del Río Conchos (San Pedro-Chuviscar, Ojinaga en la Boquilla y Florido), como primer punto de análisis y posteriormente ampliarlo hasta el Río San Juan. Realizando sumatorias y restas de parámetros como derivaciones, retornos y evaporaciones se obtuvo el caudal natural que llega al Río Conchos en Ojinaga. Esperándose coincidieran con los caudales naturales obtenidos por el Ingeniero Orive de Alba en el año 1945.

Se hace importante citar la metodología aplicada por (Escorcía, 2016) la cual se aprecia en la figura 3.2 y la cual se explica a continuación. Pues de ese estudio, se consideraron valores de retornos y derivaciones.

González Escorcía (2016) determinó en su investigación el régimen del caudal natural del RBG en el periodo de 1901-1913, debido a que en este periodo el RBG se encontraba con pocas modificaciones antropogénicas.

Mediante la elaboración de una hoja de cálculo se concentraron los registros de escurrimiento histórico, la temperatura y la precipitación, registros que se utilizaron para la obtención de la derivación del agua.

Cabe mencionar que todos los registros se manejaron en forma diaria y con el uso de la ecuación de continuidad ($\Delta St = Inflowst - Outflowst$) se obtuvo el caudal natural, donde *Inflows* corresponden a la masa de agua de entrada y los *Outflowst* a la masa de agua de salida.

Posteriormente analizó los datos de Cravioto y Lowry (1944) y de Orive (1945) y se compararon con los obtenidos en su investigación, se consideró el estudio de Orive (1945) ya que se basa en el informe técnico sobre el tratado internacional de aguas para el RBG.

Finalmente utilizó una tabla de funciones ecológicas definidas por Postel y Richter (2003) y se seleccionaron las funciones ecológicas pertinentes para el RGB de acuerdo a las características del régimen de flujo obtenido del caudal natural (Escorcía, 2016). Que, aunque esta última actividad no se tomó en cuenta para el presente trabajo de investigación, es importante mencionarlo.

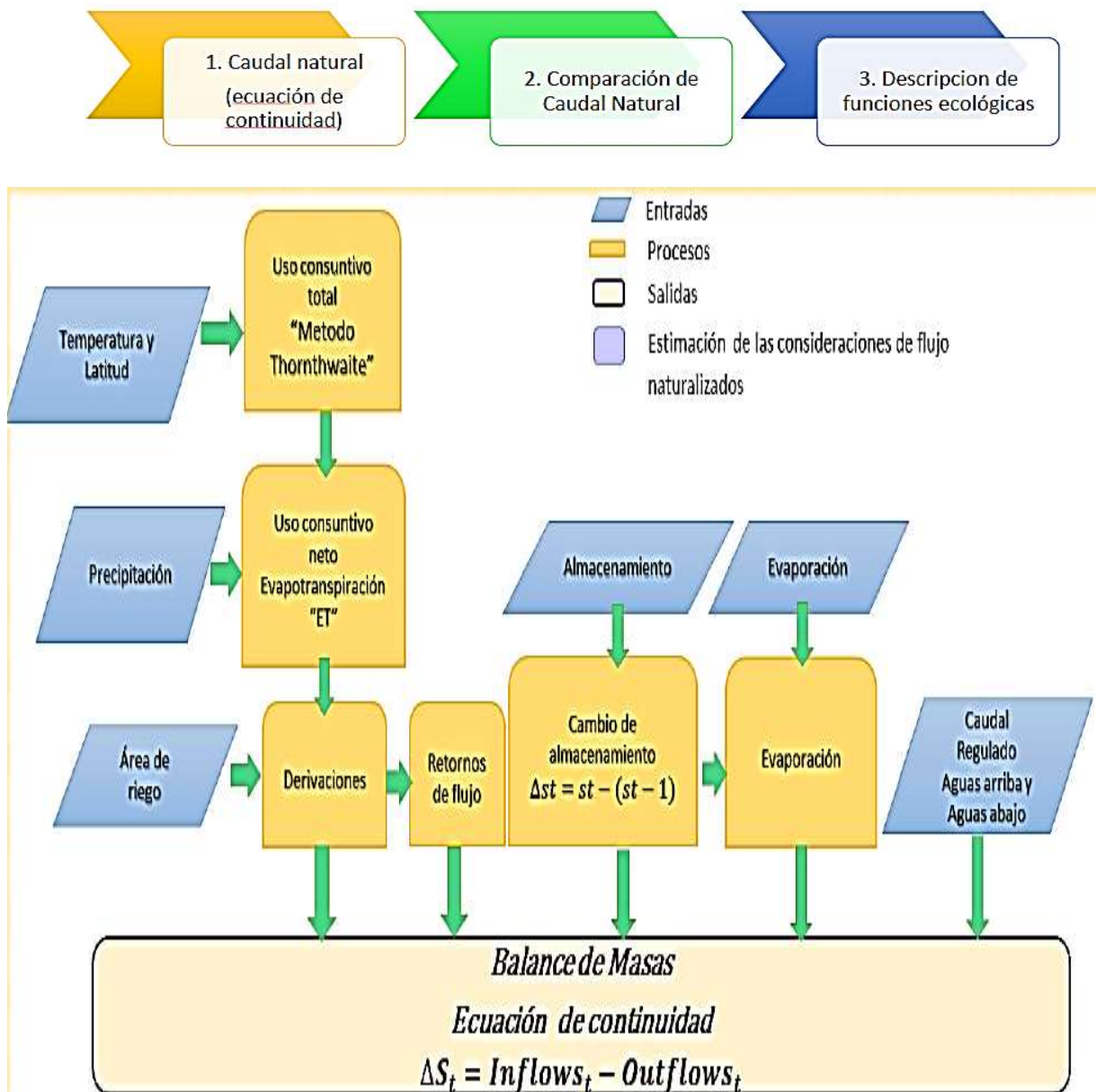
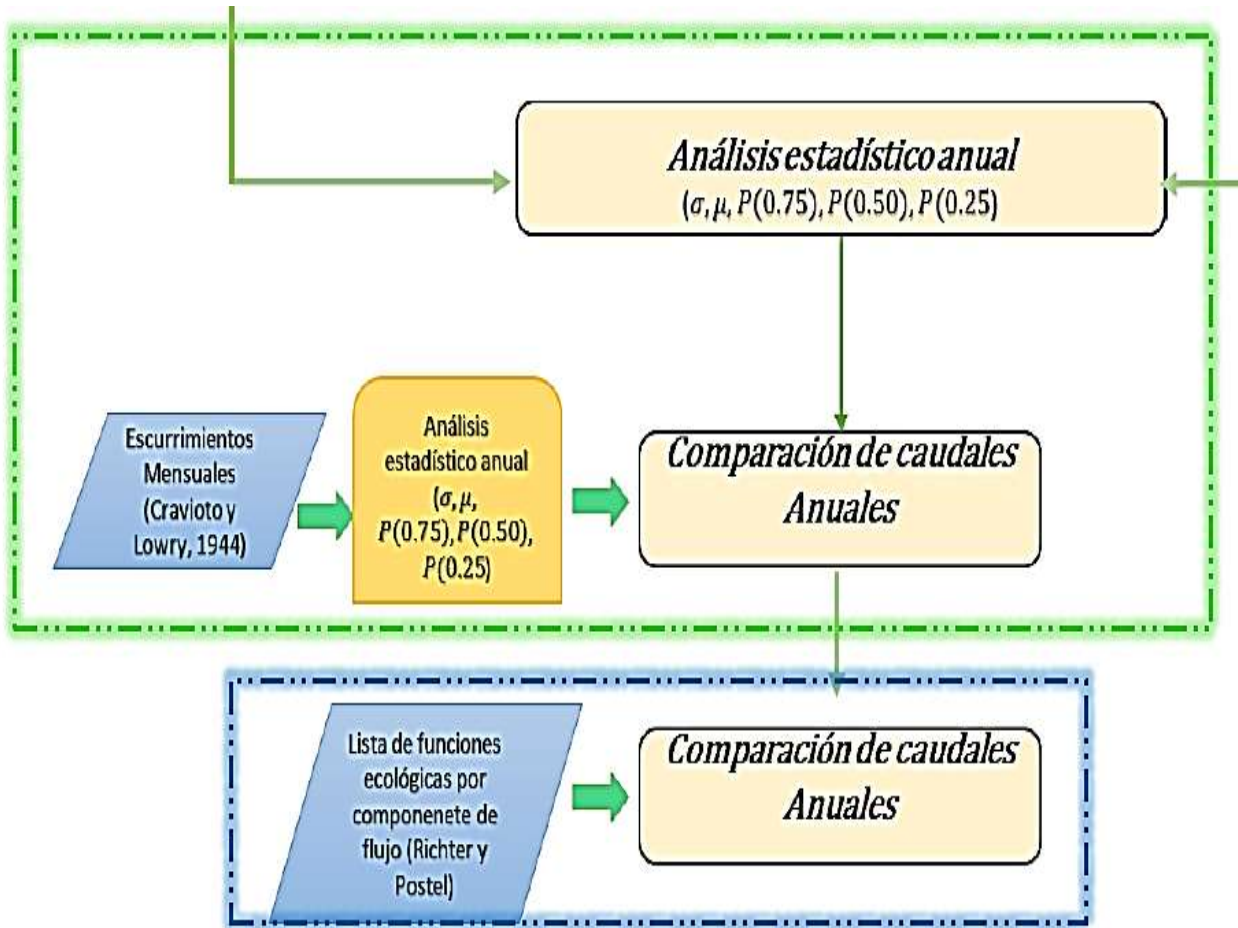


Figura 3.2. Metodología para el cálculo del caudal natural en el Río Bravo/Grande 1901-1913 (Escorcía, 2016).



Continuación figura 3.2. Metodología para el cálculo del caudal natural en el Río Bravo/Grande 1901-1913 (Escorcía, 2016).

Con la metodología anteriormente explicada, se obtuvieron los siguientes resultados que se observan en la tabla 3.1, y de donde nos interesa únicamente el valor de caudal natural del Río Conchos, por ser el principal afluente mexicano dentro de la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo, el cual se encuentra en el Estado de Chihuahua.

Cuenta con embalses para abastecer la demanda de agua para la industria, la agricultura y los municipios, estas aguas se utilizan de la misma forma para Texas y en los estados fronterizos mexicanos de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.

Tabla 3.1. Resumen estadístico de los afluentes.

CAUDAL NATURAL (1901-1913)					
	PARAMETRICAS (Mm3)		NO PARAMETRICAS (Mm3)		
	PROMEDIO	DESV ESTANDAR	P(0.75)	P(0.5)	P(0.25)
<i>Afluentes</i>					
<i>Río Conchos</i>	2045	868	2304	2006	1214
<i>Río Pecos</i>	541	289	631	439	370
<i>Río Devils</i>	492	112	547	478	415
<i>Río Salado</i>	1116	491	1358	1194	699
<i>Río San Juan</i>	1075	905	1064	653	555

Al momento de unirse con las aguas del RBG, el 90% del uso del agua del Río Conchos representa el riego agrícola (Mary E. Kelly, 2001). De ahí la importancia de este estudio.

Se obtuvieron registros de caudales naturales de los años de 1900-1943, lo que significó una ampliación en el periodo de análisis, de acuerdo con lo realizado por Escorcía (2016). Pues solo se contaba con registros completos hasta el año 1913. Además de encontrarse registros históricos de áreas para los Distritos de Riego 005 Delicias, 090 Bajo Río Conchos y 103 Río Florido, de igual forma para el periodo histórico de 1900-1943 (Comisión Nacional de Irrigación, 1945). Dando como resultado, valores más apegados a la realidad.

Como se mencionó anteriormente se consideraron algunos parámetros calculados por Escorcía (2016), como los valores de usos consuntivos y usos consuntivos netos, derivaciones y retornos.

Antes de describir el procedimiento para la obtención de Huella Hídrica Azul, se hace necesario destacar que de manera simultánea se fue realizando un programa en lenguaje Python (software libre), que reproduce el procedimiento para la obtención de caudales naturales mediante usos consuntivos. Con lo cual se busca validar la metodología aplicada en esta investigación y hacer más fácil la obtención de caudales naturales considerando cualquier Distrito de Riego y no solamente los concernientes al Río Conchos.

Esto fue posible, con la ayuda de investigadores de la Universidad de California, Davis. A continuación, se resumen brevemente los procesos que fueron necesarios desarrollar, para la obtención de dicho programa:

En primera instancia fue necesario tener presente los periodos de tiempo en los cuales contábamos con los datos necesarios (en este caso de 1900-1943).

Se obtuvo el uso consuntivo mediante la ecuación de Thornthwaite, el cual se obtiene en función de únicamente dos parámetros, la latitud del Distrito de Riego en análisis y los registros de temperaturas para dicho Distrito de Riego. Se contaba con estos registros para los Distritos de Riego del Río Florido, Delicias y San Pedro (los cuales fueron obtenidos de estaciones meteorológicas automáticas, así como con ayuda del software ERIIC III del IMTA).

Posteriormente se procedió a la obtención de los usos consuntivos netos mensuales, para los cuales necesitábamos contar con datos de precipitación. Debido a que no se contaba con registros completos de precipitación, se empleó el procedimiento llevado a cabo por Escorcía (2016), el cual consistió en asignar valores de precipitaciones de años específicos que tuvieran similitud con los usos consuntivos obtenidos previamente.

Así mismo se obtuvieron datos de Desvío agrícola y Retornos en función de la metodología aplicada por Escorcía (2016). Es importante hacer mención que las derivaciones para riego se obtuvieron multiplicando el uso consuntivo neto (previamente calculado), por los registros de áreas para riego en cada uno de los Distritos de Riego en consideración. De igual forma para los retornos se consideró como el 33% del valor de las derivaciones agrícolas.

Se emplearon los registros históricos de caudales naturales de los autores Cravioto / Lowry obtenidos en el año de 1945. Para los Distritos de Riego antes mencionados. Pudiéndose aplicar para cualquier otro Distrito de Riego, donde se cuente con registros.

Como el objetivo fundamental de este programa era corroborar que los caudales naturales obtenidos en esta investigación fueran correctos partiendo de los flujos de cabecera de los ríos Florido, Delicias y San Pedro se fueron comparando los resultados del programa con los obtenidos en el año 1945. Resultandos correctos.

Regresando a la obtención de la Huella Hídrica Azul en función de caudales naturales. Una vez obtenidos los valores históricos de caudales naturales para el Río Conchos en Ojinaga, Río San Pedro, San Antonio (Florido), se procedió a estimar el volumen de la Huella Hídrica Azul partiendo del concepto de caudal natural. Considerando los registros históricos de caudales naturales de los 3 ríos mencionados anteriormente, así como las derivaciones y los retornos, obtenidos por (Escorcía Y. G., 2016). Para lo cual fue necesario aplicar balances de masas, de la siguiente manera:

$$Q_t^{\text{Nat. blwDR103}} = Q_t^{\text{Nat. Florido}} + \text{Diversions}_t^{\text{Florido}} - \text{Returns}_t^{\text{Florido}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$Q_t^{\text{Nat. blwDR103}}$ = Escurrimiento natural estimado abajo del Distrito de Riego 103, Río Florido (Mm^3). Ver anexo 1.

$Q_t^{\text{Nat. Florido}}$ = Escurrimiento que llega a la presa San Antonio (Florido) (Mm^3). Ver anexo 2.



$Diversions_t^{Florido}$ = Derivaciones en el DR103 Río Florido, obtenidos del análisis realizado por Yanet González en el año 2016 (Mm³). Ver anexo 3.

$Returns_t^{Florido}$ = Retornos en el DR103 Río Florido, obtenidos del análisis realizado por Yanet González en el año 2016 (Mm³). Ver anexo 4.

$$Q_t^{Nat. blwDR005} = Q_t^{Nat. La Boquilla} + Diversions_t^{Delicias} - Returns_t^{Delicias} \quad (Ec. 2)$$

Es importante mencionar que, para el Distrito de Riego de Delicias, al inicio del análisis se consideraron los valores de cambio de almacenamiento y los derrames, para obtener el valor del caudal natural en ese punto. Pues precisamente ahí es donde se encuentra la presa de La Boquilla.

Sin embargo, al aplicar la ecuación 2 se notó una variación un tanto significativa entre los resultados obtenidos en este estudio y los valores de caudal natural en Ojinaga obtenidos por el Ingeniero Orive (1945). Por lo que se procedió a realizar un ajuste en la ecuación 2.

La decisión de no sumar directamente los volúmenes en el vaso y los derrames en la presa de La Boquilla, esta fundamentado en un análisis que se llevo acabo en una hoja de cálculo denominada "Big_Bend", desarrollada por el Dr. Samuel Sandoval Solís. Que, dentro de sus funcionalidades, determina en función de valores de caudales naturales calculados (empleando la metodología a continuación descrita) y valores de caudales observados (obtenidos del estudio realizado por Cravioto y Lowry en el año de 1944) dos índices, los cuales entre más cercanos a uno (1) se encuentren, indican mayor fiabilidad en los resultados. Dicho procedimiento se aplico para 3 situaciones posibles; los cuales se presentan a continuación junto con sus respectivos resultados.

Primera evaluación, **no considerando cambios de almacenamiento (0), no considerando derrames (0).**

Se obtuvieron los siguientes resultados:

		3019893	52749963	185810546
		Statistic		
		Mean, MCM	1912.8	
		Median, MCM	1596.0	
		Standard Deviation, MCM	982.3	
		Pearson's Correlation	0.982182	
		Coefficient of Determination	0.964682	
		Index of Agreement (Willmott)	0.98	
		Coefficient of Efficiency (Nash)	0.94	

Segunda evaluación, **considerando cambios de almacenamiento (1), no considerando derrames (0).**

Se obtuvieron los siguientes resultados:

	7887399	52845399	237373425
Statistic			
Mean, MCM		2186.3	
Median, MCM		1741.0	
Standard Deviation, MCM		1270.1	
Pearson's Correlation		0.951999	
Coefficient of Determination		0.906303	
Index of Agreement (Willmott)		0.97	
Coefficient of Efficiency (Nash)		0.85	

Tercera evaluación, **considerando cambios de almacenamiento (1), considerando derrames (1).**

Se obtuvieron los siguientes resultados:

	12982229	52250070	193654121
Statistic			
Mean, MCM		1966.4	
Median, MCM		1741.0	
Standard Deviation, MCM		1078.7	
Pearson's Correlation		0.875595	
Coefficient of Determination		0.766667	
Index of Agreement (Willmott)		0.93	
Coefficient of Efficiency (Nash)		0.75	

Debido a la carencia de valores de áreas en los primeros años de análisis, se tomó la decisión de eliminar valores de retornos, pues al restarlos, esto implicaría valores menores en los caudales naturales finales. Y se consideró sumar únicamente los valores de evaporación de la presa de la Boquilla, que se encuentra en esa zona.

Para la obtención de estos valores de evaporación fue necesario en primera instancia, contar con datos referentes al funcionamiento de la presa de la Boquilla (volúmenes de la presa), los cuales se tuvieron que extraer del mismo estudio sobre Irrigación en México (Comisión Nacional de Irrigación, 1945), contándose en un inicio únicamente con graficas que mostraban valores de almacenamiento de la presa y derrames, teniéndose que trabajar con el software AutoCAD para poder obtener esos valores de forma tabular, ver anexos 17 y 18, donde se muestran los valores tanto de comportamiento del vaso y derrames presentes en la presa de La Boquilla para el periodo de 1900-1943.

Además, se trabajó con datos de un levantamiento topobatrímétrico de la Presa La Boquilla (realizado en el año 2004). Toda esta información se procesó en una hoja de cálculo denominada WEAP, que dentro de sus funciones aplica interpolaciones lineales para obtener finalmente valores de evaporación de la presa de La Boquilla, empleados en este estudio.

Quedando la ecuación 2 de la siguiente manera:

$$Q_t^{\text{Nat. blwDR005}} = Q_t^{\text{Nat. La Boquilla}} + \text{Diversions}_t^{\text{Delicias}} + \text{Evaporation}_t^{\text{Delicias}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

$Q_t^{\text{Nat. blwDR005}}$ = E scorrimiento natural estimado abajo del Distrito de Riego 005, Delicias (Mm^3). Ver anexo 5.

$Q_t^{\text{Nat. La Boquilla}}$ = E scorrimiento del Río Conchos en la Boquilla (Mm^3). Ver anexo 6.

$\text{Diversions}_t^{\text{Delicias}}$ = Derivaciones en el DR005 Delicias, obtenidos del análisis realizado por Yanet González en el año 2016 (Mm^3). Ver anexo 7.

$\text{Evaporation}_t^{\text{Delicias}}$ = Evaporación que se presenta en la presa La Boquilla. Obtenido de (Orive, 1945). Ver anexo 8.

Para el tramo del Río San Pedro-Chuviscar, se retomó la consideración de las derivaciones y los retornos, como se aprecia en la ecuación 4.

$$Q_t^{\text{Nat. BlwSan Pedro-Chuviscar}} = Q_t^{\text{Nat. San Pedro}} + \text{Diversions}_t^{\text{San Pedro-Chuviscar}} - \text{Returns}_t^{\text{San Pedro-Chuviscar}} \quad (\text{Ec. 4}).$$

Donde:

$Q_t^{\text{Nat. BlwSan Pedro-Chuviscar}}$ = E scorrimiento natural estimado abajo del tramo San Pedro-Chuviscar (Mm^3). Ver anexo 9.

$Q_t^{\text{Nat. San Pedro}}$ = E scorrimiento del Río San Pedro en las Vírgenes (Mm^3). Ver anexo 10.

$\text{Diversions}_t^{\text{San Pedro-Chuviscar}}$ = Derivaciones en el tramo San Pedro-Chuviscar, obtenidos del análisis realizado por Orive de Alba en el año 1945 (Mm^3). Ver anexo 11.

$\text{Returns}_t^{\text{San Pedro-Chuviscar}}$ = Retornos en el tramo San Pedro-Chuviscar, derivados del análisis realizado por Orive de Alba en el año 1945 (Mm^3). Ver anexo 12.

Con la sumatoria de estos tres caudales naturales se obtuvo el caudal natural que llega a la estación de las Burras. Ver anexo 13.

Posteriormente se continuó con el análisis hacia Ojinaga.

$$Q_t^{\text{Nat. Ojinaga JLR}} = Q_t^{\text{Nat. Las Burras}} + \text{Diversions}_t^{\text{Ojinaga}} - \text{Returns}_t^{\text{Ojinaga}} \quad (\text{Ec. 5}).$$

Donde:

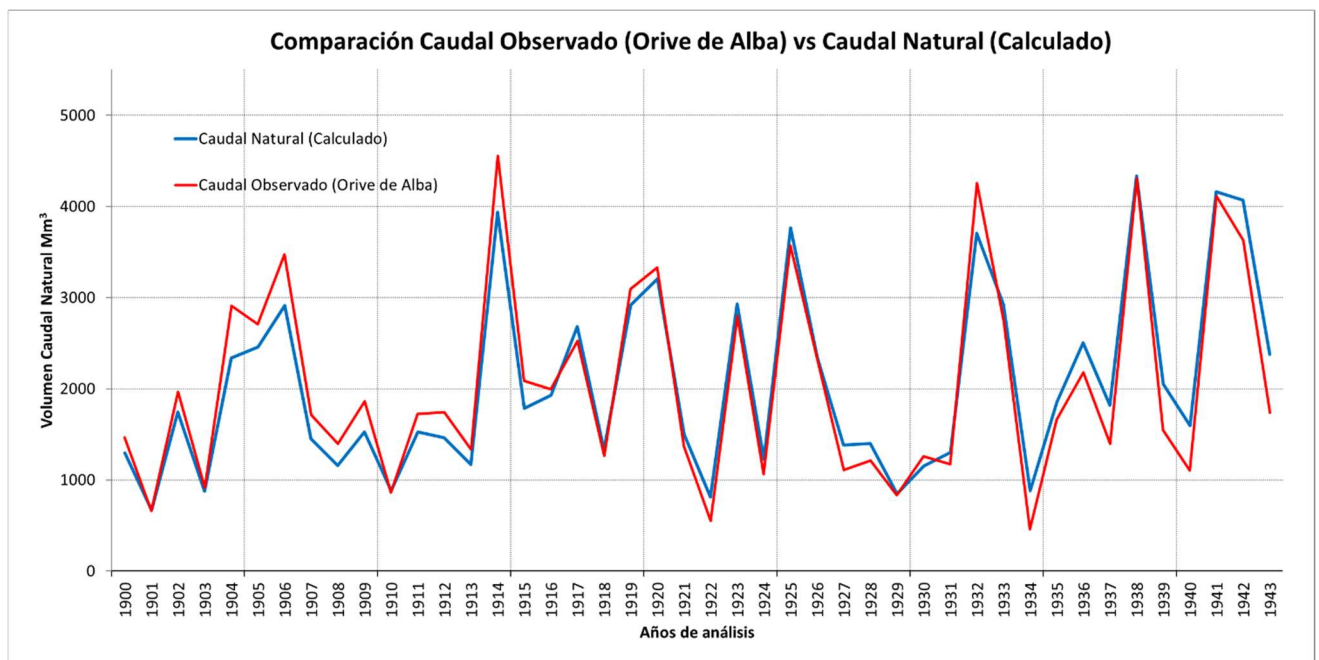
$Q_t^{\text{Nat. Ojinaga JLR}}$ = Escorrentamiento natural estimado en Ojinaga por Jesus Loredo Rasgado (Mm^3). Ver anexo 14.

$Q_t^{\text{Nat. Las Burras}}$ = Escorrentamiento natural que llega a la estación Las Burras (Mm^3). Ver anexo 13.

$\text{Diversions}_t^{\text{Ojinaga}}$ = Derivaciones en el DR090 Bajo Río Conchos u Ojinaga, obtenidos del análisis realizado por Yanet González en el año 2016 (Mm^3). Ver anexo 15.

$\text{Returns}_t^{\text{Ojinaga}}$ = Derivaciones en el DR090 Bajo Río Conchos u Ojinaga, obtenidos del análisis realizado por Yanet González en el año 2016 (Mm^3). Ver anexo 16.

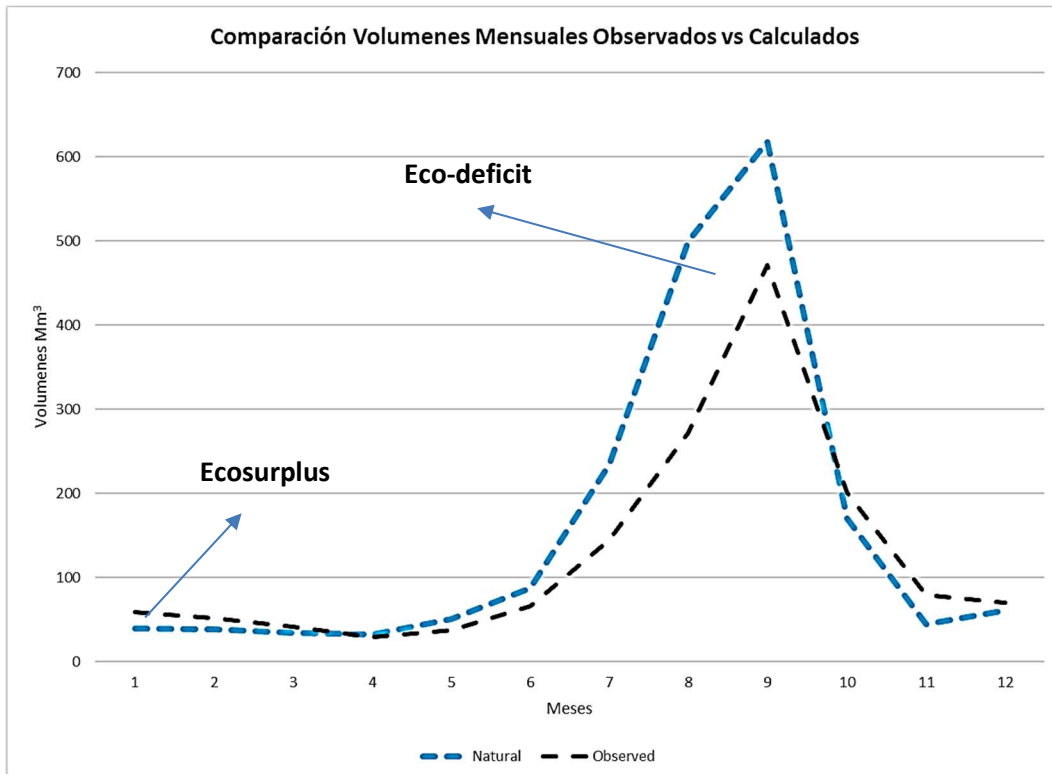
Obteniéndose un valor promedio total de $Q_t^{\text{Nat. Ojinaga JLR}}$ igual a 2050 Mm^3 , el cual posteriormente se comparó con el caudal natural promedio total obtenido por el autor Orive de Alba en el año 1945 para el mismo periodo de tiempo (1900-1943), el cual fue de 2046 Mm^3 . Con lo cual se dio por valido el procedimiento antes explicado. Ver grafica 3.1.



Grafica 3.1. Comparación de volúmenes de caudales naturales observados (Orive de Alba) y caudales calculados en esta investigación.

Con lo anterior se validó en primera instancia la metodología propuesta para la obtención de caudales naturales. Y en segunda instancia la posibilidad de obtener volúmenes de Huella Hídrica Azul empleando parámetros de esta serie de tiempo (1900-1943), con lo cual se podrá conocer el comportamiento de este índice (Huella Hídrica Azul) en lo pasado y poder compararlo con su respectivo comportamiento en el presente.

Vital se hace comentar que se pensaba obtener un valor de Huella Hídrica Azul, realizando una diferencia entre los valores anuales de caudales naturales obtenidos con esta metodología ($Q_t^{\text{Nat. Ojinaga JLR}}$) y los valores de caudales observados en el estudio de Cravioto y Lowry (Eduardo Cravioto, 1944). Sin embargo, nos percatamos que teníamos un error conceptual al tratar de comparar valores medidos con valores observados. Lo que nos permitió conocer dos conceptos fundamentales. El Eco-deficit y el Ecosurplus (exceso), los cuales están determinados en función de algunas condiciones. que se consideraron para esta investigación. Ver Grafica 3.2.



Grafica 3.2. Comparación de volúmenes observados y volúmenes calculados de caudales naturales.

Cuando el Caudal observado es mayor que el Caudal natural calculado, tenemos un ecosurplus (estamos encontrando más agua de la que originalmente teníamos). Caso contrario cuando tenemos menos agua de la que teníamos de forma natural, a esto se le conoce como eco-deficit. En nuestro caso particular estas situaciones se presentan porque en algunos años de análisis ya se consideran almacenamientos de la presa la boquilla.

La importancia de esto último radica en que gracias a esta investigación estamos comprobando de manera gráfica la afectación que se ha tenido a lo largo de los años en ese tramo del Río Bravo.

Pero se hace importante justificar. ¿Cómo es posible medir o registrar un mayor volumen de agua que de forma natural había?, esto es posible por la existencia de una presa.

La diferencia entre esas dos líneas de la gráfica 3.2, es lo que se estaba consumiendo en ese periodo de tiempo (eco-deficit). Que se podría considerarse una forma de representación gráfica de la Huella Hídrica Azul.

Debido a que se obtuvieron resultados convincentes al analizar la región del Río Conchos, se aplicó la misma metodología partiendo del Río Conchos, hasta llegar al Río San Pedro Roma.

De entrada, es importante mencionar que este análisis se realizó por subsecciones, en función de la figura 3.3 y figura 3.4.

CORRIENTE PRINCIPAL	
FORT QUITMAN	
PRESIDIO ARRIBA	
PRESIDIO ABAJO	
LANGTRY	
DEL RIO	
PIEDRAS NEGRAS	
NUEVO LAREDO	
SAN PEDRO ROMA	

Figura 3.3. Sección de análisis para el balance de masas de 1900-1943 (Eduardo Cravioto, 1944).

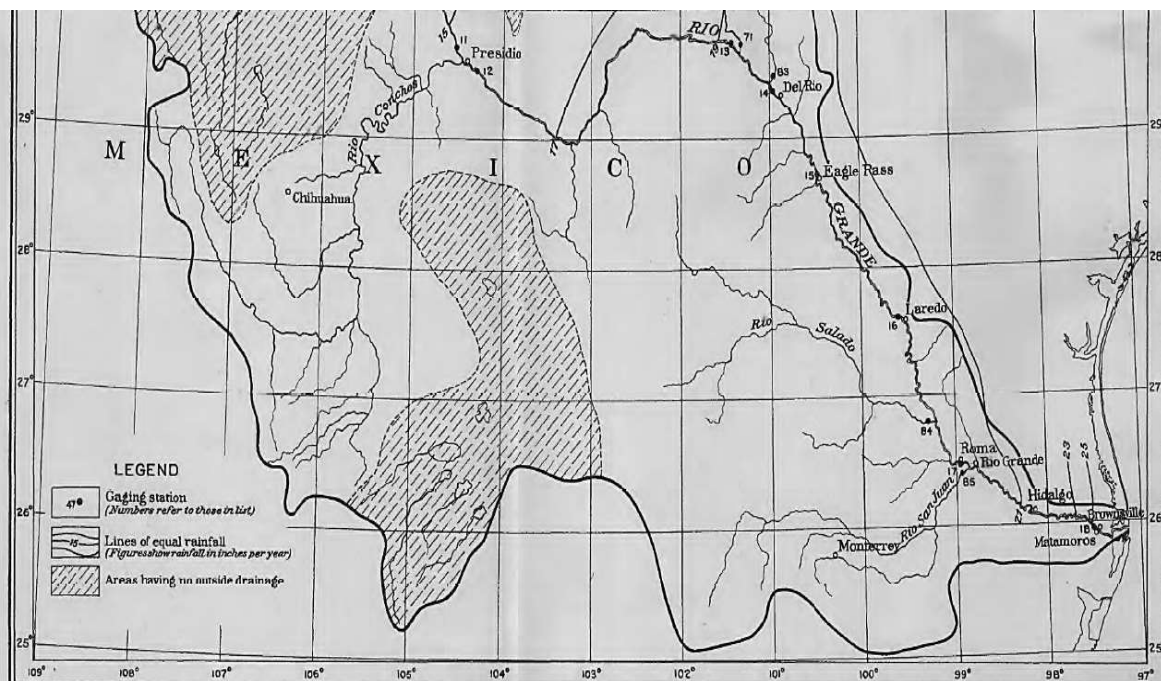


Figura 3.4. Mapa representativo de la región de análisis (Eduardo Cravioto, 1944).

Partiendo de los caudales naturalizados obtenidos en el Río Conchos en esta misma investigación.

Recordando en todo momento que siempre se consideraron los caudales que se tenían en esta sección (naturales u observados) más lo que se hizo en la cuenca propia (input), y esto a su vez tiene que ser igual a lo que salió (output).

Todos estos balances se realizaron únicamente empleando los caudales medidos u observados, pues estamos haciendo una consideración muy grande, y es que nadie estaba extrayendo (consumiendo) agua. Y los naturales, se obtuvieron sumando al caudal natural acumulado los inflows y en algunos casos los caudales de los tributarios presentes en cada volumen de control.

Hay que mencionar que de igual manera se tomaron en consideración las derivaciones presentes en algunos tributarios; Río Escondido, Río San Diego, Río San Rodrigo y Arroyo Las Vacas, Río San Juan, Río Pecos y Río Alamo. Esto consistió en conocer valores referentes a áreas de irrigación, precipitación y temperatura, que en su mayoría fueron obtenidos de algunos registros históricos de la plataforma web PRISM Climate Group (Oregon State University, 2018), calcular la evapotranspiración, ver si contamos con registros de precipitación (para posteriormente obtener los usos consuntivos netos, es el agua que le regresaremos al Río). Básicamente es realizar el mismo procedimiento de ajuste que en el Río Conchos, fundamentado en el método de Thornthwaite.

Para el caso de las áreas de riego, fueron obtenidos del estudio realizado por el Ingeniero Orive de Alba de 1945, donde en muchos casos se consideraron tanto el valor de áreas permanentes y temporales (eventuales) (Comisión Nacional de Irrigación, 1945). Para el caso del Río Pecos, las áreas de irrigación fueron obtenidas de un estudio titulado "The influences of human activities on the Waters of the Pecos Basin of Texas: a Brief Overview", realizado por el autor Ric Jensen de Texas Water Resources Institute (Jensen, 2006).

Esto fue relativamente sencillo, pues como se menciona en páginas anteriores se contaba con una herramienta de calculo desarrollada en lenguaje Python durante este proyecto, para la obtención de los usos consuntivos, usos consuntivos diarios y derivaciones.

Tuvimos de igual forma que obtener las evaporaciones de la presa Don Martín. Sabiendo en función de estudios que el almacenamiento de dicha presa es cerca de 1385 Millones de metros cúbicos anuales. Y que el 20% de dicho volumen es el que se evapora. Para lo cual se aplicó el mismo procedimiento de análisis que en el caso de la presa de La Boquilla.

Es importante mencionar que en algunas secciones los caudales observados se consideraron como caudales naturales (como se especifica en algunas fórmulas de los balances de masas). Para lo cual se realizaron los siguientes balances de masas:

En todos los siguientes análisis se debe cumplir la premisa que lo que entra debe ser lo mismo que sale, es decir $I_t = O_t$

1.- Para la parte del Río Conchos en Ojinaga.

$$I_t = O_t$$

Donde:

I_t = Entradas.

O_t = Salidas.

$$I_t = Q_t^{\text{Obs_Conchos_en_Ojinaga}} + Q_t^{\text{Obs_RBG_Above_Conchos}} + IF_t$$

$$O_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_blw_Conchos}}$$

$$Q_t^{\text{Obs_Conchos_en_Ojinaga}} + Q_t^{\text{Obs_RBG_Above_Conchos}} + IF_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_blw_Conchos}}$$

Por tanto, los Incremental Flows en esa sección quedarían como:

$$IF_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_blw_Conchos}} - [Q_t^{\text{Obs_Conchos_en_Ojinaga}} + Q_t^{\text{Obs_RBG_Above_Conchos}}] \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

IF_t = Incremental Flow de arriba del Río Conchos hasta abajo del Río Conchos (Mm^3). Anexo 155.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_blw_Conchos}}$ = Ecurrimiento observado del Río Conchos abajo de Presidio de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 156.

$Q_t^{\text{Obs_Conchos_en_Ojinaga}}$ = Ecurrimiento observado del Río Conchos en Ojinaga de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 157.

$Q_t^{\text{Obs_RBG_Above_Conchos}}$ = Ecurrimiento observado del Río Conchos arriba de Presidio de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 158.

Por tanto, el caudal natural en ese punto quedaría:

$$Q_t^{\text{Nat_RGB_below_Conchos}} = Q_t^{\text{Nat_RGB_above_Ojinaga}} + Q_t^{\text{Nat_Conchos_Ojinaga_JLR}} + IF_t^{\text{Ojinaga}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

$Q_t^{\text{Nat_RGB_below_Conchos}}$ = Ecurrimiento natural abajo del Río Conchos (Mm^3). Anexo 159.

$Q_t^{\text{Nat_RGB_above_Ojinaga}}$ = Ecurrimiento natural arriba del Río Conchos en Ojinaga (Mm^3). Anexo 160.

$Q_t^{\text{Nat_Conchos_Ojinaga_JLR}}$ = Ecurrimiento natural previamente estimado en Ojinaga por Jesus Loredo Rasgado (Mm^3). Ver anexo 14.

$IF_t^{Ojinaga}$ = Incremental Flow de arriba del Río Conchos hasta abajo del Río Conchos (Mm^3). Anexo 155.

2.- Para la sección comprendida de Below Conchos al Río Langtry.

$$I_t = O_t$$

Donde:

I_t = Entradas.

O_t = Salidas.

$$I_t = Q_t^{Obs_RGB_blw_Ojinaga} + Q_t^{Obs_Alamito_Terlingua} + IF_t$$

$$O_t = Q_t^{Obs_RGB_Langtry}$$

$$Q_t^{Obs_RGB_blw_Ojinaga} + Q_t^{Obs_Alamito_Terlingua} + IF_t = Q_t^{Obs_RGB_Langtry}$$

Por tanto, los Incremental Flows en esa sección quedarían como:

$$IF_t = Q_t^{Obs_RGB_Langtry} - [Q_t^{Obs_RGB_blw_Ojinaga} + Q_t^{Obs_Alamito_Terlingua}] \quad (Ec. 8)$$

Donde:

IF_t = Incremental Flow de abajo del Río Conchos hasta el Río Langtry (Mm^3). Anexo 161.

$Q_t^{Obs_RGB_Langtry}$ = Escurrimiento observado del Río Langtry de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 162.

$Q_t^{Obs_RGB_blw_Ojinaga}$ = Escurrimiento observado del Río Conchos abajo de Presidio de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 156.

$Q_t^{Obs_Alamito_Terlingua}$ = Escurrimiento observado de los Arroyos Alamito y Terlingua de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 163.

Por tanto, el caudal natural en ese punto quedaría:

$$Q_t^{Nat_RGB_Langtry} = Q_t^{Nat_RGB_below_Ojinaga} + Q_t^{Nat_Alamito_Terlingua} + IF_t^{Langtry} \quad (Ec. 9)$$

Donde:

$Q_t^{Nat_RGB_Langtry}$ = Escurrimiento natural en el Río Langtry (Mm^3). Anexo 164.

$Q_t^{Nat_RGB_below_Ojinaga}$ = Escurrimiento natural abajo del Río Conchos (Mm^3). Anexo 159.

Se consideró; $Q_t^{Obs_Alamito_Terlingua} = Q_t^{Nat_Alamito_Terlingua}$ = Escurrimiento natural de los Arroyos Alamito y Terlingua de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 163.

$IF_t^{Langtry}$ = Incremental Flow de abajo del Río Conchos hasta el Río Langtry (Mm^3). Anexo 161.

Es lógico que en esta sección de Langtry el volumen de agua tiene que subir, más menos 500-800 Mm³ por año.

3.- Para la sección comprendida del Río Langtry a Del Río.

$$I_t = O_t$$

Donde:

I_t = Entradas.

O_t = Salidas.

$$I_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_Langtry}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Pecos}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Devils}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Goodenough}} + IF_t$$

$$O_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_DelRío}}$$

$$Q_t^{\text{Obs_RGB_Langtry}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Pecos}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Devils}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Goodenough}} + IF_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_DelRío}}$$

Por tanto, los Incremental Flows en esa sección quedarían como:

$$IF_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_DelRío}} - [Q_t^{\text{Obs_RGB_Langtry}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Pecos}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Devils}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Goodenough}}]$$

(Ec. 10)

Donde:

IF_t = Incremental Flow del Río Langtry hasta en Del Río (Mm³). Anexo 165.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_DelRío}}$ = Escurrimiento observado en Del Río de 1900-1943 (Mm³). Anexo 166.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_Langtry}}$ = Escurrimiento observado del Río Langtry de 1900-1943 (Mm³). Anexo 162.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_Pecos}}$ = Escurrimiento observado del Río Pecos cerca de Comstock de 1900-1943 (Mm³). Anexo 167.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_Devils}}$ = Escurrimiento observado del Río Devil's de 1900-1943 (Mm³). Anexo 168.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_Goodenough}}$ = Escurrimiento observado de los Manantiales Goodenough de 1900-1943 (Mm³). Anexo 169.

Por tanto, el caudal natural en ese punto quedaría:

$$Q_t^{\text{Nat_RGB_DelRío}} = Q_t^{\text{Nat_RGB_Langtry}} + Q_t^{\text{Nat_RGB_Pecos}} + Q_t^{\text{Nat_RGB_Devils}} + Q_t^{\text{Nat_RGB_Goodenough}} + IF_t^{\text{DelRío}}$$

(Ec. 11)

Donde:

$Q_t^{\text{Nat_RGB_DelRío}}$ = Escurrimiento natural en Del Río (Mm³). Anexo 170.

$Q_t^{\text{Nat_RGB_Langtry}}$ = Escurrimiento natural en el Río Langtry (Mm³). Anexo 164.

$Q_t^{\text{Nat_RGB_Pecos}} = Q_t^{\text{Obs_RGB_Pecos}} + \text{Diversions}^{\text{Pecos}} =$ Escurrimiento natural del Río Pecos cerca de Comstock de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 171.

$\text{Diversions}^{\text{Pecos}} =$ Derivaciones en el tramo del Río Pecos de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 172.

Se consideró; $Q_t^{\text{Obs_RGB_Devils}} = Q_t^{\text{Nat_RGB_Devils}} =$ Escurrimiento natural del Río Devil's de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 168.

Se consideró; $Q_t^{\text{Obs_RGB_Goodenough}} = Q_t^{\text{Nat_RGB_Goodenough}} =$ Escurrimiento natural de los Manantiales Goodenough de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 169.

$IF_t^{\text{DelRío}} =$ Incremental Flow del Río Langtry hasta en Del Río (Mm^3). Anexo 165.

4.- Para la sección comprendida de Del Río a Piedras Negras (Eagle Pass).

$$I_t = O_t$$

Donde:

$I_t =$ Entradas.

$O_t =$ Salidas.

$$I_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_DelRío}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_SD_SR_AL}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_SF_Pinto}} + IF_t$$

$$O_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_Piedras_Negras}}$$

$$Q_t^{\text{Obs_RGB_DelRío}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_SD_SR_AL}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_SF_Pinto}} + IF_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_Piedras_Negras}}$$

Por tanto, los Incremental Flows en esa sección quedarían como:

$$IF_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_Piedras_Negras}} - [Q_t^{\text{Obs_RGB_DelRío}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_SD_SR_AL}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_SF_Pinto}}] \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

$IF_t =$ Incremental Flow en Del Río hasta Piedras Negras (Mm^3). Anexo 173.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_Piedras_Negras}} =$ Escurrimiento observado en Piedras Negras de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 174.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_DelRío}} =$ Escurrimiento observado en Del Río de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 166.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_SD_SR_AL}} =$ Escurrimiento observado de los Ríos San Diego, San Rodrigo y Arroyo Las Vacas de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 175.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_SF_Pinto}} =$ Escurrimiento observado de los Arroyos San Felipe y Pinto de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 176.

Por tanto, el caudal natural en ese punto quedaría:



$$Q_t^{\text{Nat_RGB_Piedras_Negras}} = Q_t^{\text{Nat_RGB_DelRío}} + Q_t^{\text{Nat_RGB_SD_SR_AL}} + Q_t^{\text{Nat_RGB_SF_Pinto}} + IF_t^{\text{Piedras_Negras}}$$

(Ec. 13)

Donde:

$Q_t^{\text{Nat_RGB_Piedras_Negras}}$ = Escurrimiento natural en Piedras Negras (Mm³). Anexo 177.

$Q_t^{\text{Nat_RGB_DelRío}}$ = Escurrimiento natural en Del Río (Mm³). Anexo 170.

$Q_t^{\text{Nat_RGB_SD_SR_AL}} = Q_t^{\text{Obs_RGB_SD_SR_AL}} + \text{Diversions}^{\text{SD_SR_AL}} =$ Escurrimiento natural de los Ríos San Diego, San Rodrigo y Arroyo Las Vacas de 1900-1943 (Mm³). Anexo 178.

$\text{Diversions}^{\text{SD_SR_AL}}$ = Derivaciones en el tramo de los Ríos San Diego, San Rodrigo y Arroyo Las Vacas de 1900-1943 (Mm³). Anexo 179.

Se consideró; $Q_t^{\text{Obs_RGB_SF_Pinto}} = Q_t^{\text{Nat_RGB_SF_Pinto}} =$ Escurrimiento natural de los Arroyos San Felipe y Pinto de 1900-1943 (Mm³). Anexo 176.

$IF_t^{\text{Piedras_Negras}}$ = Incremental Flow en Del Río hasta Piedras Negras (Mm³). Anexo 173.

5.- Para la sección comprendida de Piedras Negras (Eagle Pass) a Laredo.

$$I_t = O_t$$

Donde:

I_t = Entradas.

O_t = Salidas.

$$I_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_Piedras_Negras}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Escondido}} + IF_t$$

$$O_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_Laredo}}$$

$$Q_t^{\text{Obs_RGB_Piedras_Negras}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Escondido}} + IF_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_Laredo}}$$

Por tanto, los Incremental Flows en esa sección quedarían como:

$$IF_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_Laredo}} - [Q_t^{\text{Obs_RGB_Piedras_Negras}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Escondido}}] \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

IF_t = Incremental Flow de Piedras Negras hasta Laredo (Mm³). Anexo 180.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_Laredo}}$ = Escurrimiento observado en Nuevo Laredo de 1900-1943 (Mm³). Anexo 181.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_Piedras_Negras}}$ = Escurrimiento observado en Piedras Negras de 1900-1943 (Mm³). Anexo 174.

$Q_t^{Obs_RGB_Escondido}$ = Escurrimiento observado en el Río Escondido de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 182.

Por tanto, el caudal natural en ese punto quedaría:

$$Q_t^{Nat_RGB_Laredo} = Q_t^{Nat_RGB_Piedras_Negras} + Q_t^{Nat_RGB_Escondido} + IF_t^{Laredo} \quad (Ec. 15)$$

Donde:

$Q_t^{Nat_RGB_Laredo}$ = Escurrimiento natural en Laredo (Mm^3). Anexo 183.

$Q_t^{Nat_RGB_Piedras_Negras}$ = Escurrimiento natural en Piedras Negras (Mm^3). Anexo 177.

$Q_t^{Nat_RGB_Escondido} = Q_t^{Obs_RGB_Escondido} + Diversions^{Escondido}$ = Escurrimiento natural en el Río Escondido de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 184.

$Diversions^{Escondido}$ = Derivaciones en el tramo del Río Escondido de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 185.

IF_t^{Laredo} = Incremental Flow de Piedras Negras hasta Laredo (Mm^3). Anexo 180.

6.- Para la sección comprendida de Laredo al Río San Pedro Roma.

Para esta sección en primera instancia se tiene que calcular el nuevo caudal natural del Río Salado, en función de registros de caudales naturales en el Río Salado por el Ingeniero Orive de Alba (1945), así como considerar aspectos de derivaciones del Distrito de Riego 004 Don Martín/Nuevo León y considerando también las evaporaciones de la presa Don Martín también conocida como Venustiano Carranza, es decir:

$$Q_t^{Nat_RGB_Salado} = Q_t^{Nat_RGB_Salado_above_Martin} + Diversions^{DR004} + Evap^{Don_Martin} \quad (Ec. 16)$$

Donde:

$Q_t^{Nat_RGB_Salado}$ = Escurrimiento natural en el Río Salado (Mm^3). Anexo 186.

$Q_t^{Nat_RGB_Salado_above_Martin}$ = Escurrimiento natural en el Río Salado arriba de Don Martín (Mm^3). Anexo 187.

$Diversions^{DR004}$ = Derivaciones en el Distrito de Riego 004 Don Martín de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 188.

$Evap^{Don_Martin}$ = Evaporación en la Presa Don Martín de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 189.

Para posteriormente continuar con el balance de masas a lo largo del Río Bravo.

$$I_t = O_t$$

Donde:

I_t = Entradas.



$O_t = \text{Salidas.}$

$$I_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_Laredo}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Salado}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Alamo}} + IF_t$$

$$O_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_SP_Roma}}$$

$$Q_t^{\text{Obs_RGB_Laredo}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Salado}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Alamo}} + IF_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_SP_Roma}}$$

Por tanto, los Incremental Flows en esa sección quedarían como:

$$IF_t = Q_t^{\text{Obs_RGB_SP_Roma}} - [Q_t^{\text{Obs_RGB_Laredo}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Salado}} + Q_t^{\text{Obs_RGB_Alamo}}] \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

$IF_t =$ Incremental Flow de Laredo hasta San Pedro Roma (Mm^3). Anexo 190.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_SP_Roma}} =$ Escurrimiento observado en San Pedro de Roma de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 191.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_Laredo}} =$ Escurrimiento natural en Laredo (Mm^3). Anexo 181.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_Salado}} =$ Escurrimiento observado en el Río Salado de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 192.

$Q_t^{\text{Obs_RGB_Alamo}} =$ Escurrimiento observado en el Alamo de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 193.

Por tanto, el caudal natural en ese punto quedaría:

$$Q_t^{\text{Nat_RGB_SP_Roma}} = Q_t^{\text{Nat_RGB_Laredo}} + Q_t^{\text{Nat_RGB_Salado}} + Q_t^{\text{Nat_RGB_Alamo}} + IF_t^{\text{SP_Roma}} \quad (\text{Ec. 18})$$

$Q_t^{\text{Nat_RGB_SP_Roma}} =$ Escurrimiento natural en San Pedro Roma (Mm^3). Anexo 194.

$Q_t^{\text{Nat_RGB_Laredo}} =$ Escurrimiento natural en Laredo (Mm^3). Anexo 183.

$Q_t^{\text{Nat_RGB_Salado}} =$ Escurrimiento natural en el Río Salado (Mm^3). Anexo 186.

$Q_t^{\text{Nat_RGB_Alamo}} = Q_t^{\text{Obs_RGB_Alamo}} + \text{Diversions}^{\text{Alamo}} =$ Escurrimiento natural en el Alamo de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 195.

$\text{Diversions}^{\text{Alamo}} =$ Derivaciones en el tramo del Alamo de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 196.

$IF_t^{\text{SP_Roma}} =$ Incremental Flow de Laredo hasta San Pedro Roma (Mm^3). Anexo 190.

7.- Para la sección comprendida del Río San Pedro Roma al Río San Juan.

$$Q_t^{\text{Nat_RGB_San_Juan}} = Q_t^{\text{Obs_RGB_San_Juan}} + \text{Diversions}^{\text{San_Juan}} \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde:

$Q_t^{\text{Nat_RGB_San_Juan}} =$ Escurrimiento natural en el Río San Juan de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 197.

$Q_t^{Obs_RGB_San_Juan}$ = Escurrimiento natural medido en el Río San Juan (Mm^3). Anexo 198.

$Diversions^{San_Juan}$ = Derivaciones en el tramo del Río San Juan de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 199.

Por tanto, el caudal natural en ese punto quedaría:

$$Q_t^{Nat_RGB_blw_San_Juan} = Q_t^{Nat_RGB_SP_Roma} + Q_t^{Nat_RGB_San_Juan} \quad (Ec. 20)$$

$Q_t^{Nat_RGB_blw_San_Juan}$ = Escurrimiento natural abajo del Río San Juan de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 200.

$Q_t^{Nat_RGB_SP_Roma}$ = Escurrimiento natural en San Pedro Roma (Mm^3). Anexo 194.

$Q_t^{Nat_RGB_San_Juan}$ = Escurrimiento natural en el Alamo de 1900-1943 (Mm^3). Anexo 197.

De igual forma se realizó una comparación directa con las láminas consideradas en el mismo estudio realizado por el Ingeniero Orive de Alba.

Es importante mencionar que el análisis y comparación de resultados se realizó por tramos como se aprecia en la tabla 3.2. Donde se puede apreciar el resumen de los volúmenes en millones de metros cúbicos, obtenidos en cada balance de masas para cada volumen o punto de control, desde el Río Conchos hasta abajo del Río San Juan, para el periodo comprendido de 1900-1943. De igual manera se aprecia la obtención de un volumen igual a $10,778 Mm^3$. Que al compararse con los $10,916 Mm^3$ registrados en estudios, nos da un error aproximado de 1.33% aproximadamente, lo cual se considera como aceptable.

Llamo la atención el hecho que en el tramo de Del Río a Piedras Negras los incremental Flows resultaran negativos. Esto muy probablemente se debe a que el escurrimiento que se tiene en el tramo de Del Río es significativamente mayor comparado con el que se tiene en Piedras Negras. De igual forma se puede justificar el hecho que encontremos más agua de la que había debido a la presencia del canal Maverick (hidroeléctrica).

Por su parte en la tabla 3.3 se pueden apreciar los resultados obtenidos con esta metodología denominados "Calculado" y su respectiva comparación con los registros dentro del informe de irrigación realizado por el ingeniero Orive de Alba en el año 1945, denominado "Histórico" dentro de la misma tabla. Importante notar que esta comparación se realizó por afluente tanto del lado mexicano como del lado estadounidense.

Tabla 3.2. Resumen de resultados, balances de masas en cada volumen de control.

RGB at Fort Quitman	16	18	16	20	38	34	33	42	48	31	20	20	335
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
RGB above Conchos	71	61	94	165	467	547	284	190	138	142	87	77	2,323
<i>Conchos</i>	45	47	47	48	69	105	248	512	629	181	52	66	2,050
IF	-1	0	0	-1	0	1	-1	0	0	0	0	0	-2
Control Vol. Total	115	107	141	213	536	654	531	701	767	323	139	143	4,371
RGB below Conchos	115	107	141	213	536	654	531	701	767	323	139	143	4,371
RGB below Conchos	115	107	141	213	536	654	531	701	767	323	139	143	4,371
<i>Alamito and Terlingua</i>	0.5	0.4	0.5	1.0	8.5	14.2	9.3	11.7	19.7	7.8	0.8	0.7	75
IF	34	26	29	23	38	46	33	32	97	88	42	33	520
Control Vol. Total	149	134	171	237	582	714	573	745	884	419	182	177	4,966
RGB Langtry	149	134	171	237	582	714	573	745	884	419	182	177	4,965
RGB Langtry	149	134	171	237	582	714	573	745	884	419	182	177	4,965
<i>Pecos River</i>	39	36	47	72	114	147	140	136	129	99	56	40	1054
<i>Goodenough Springs</i>	11	10	10	10	10	10	10	10	12	11	11	11	126
<i>Devils River</i>	33	29	30	38	54	52	56	39	93	48	36	33	541
IF	15	15	17	14	21	77	19	18	52	39	18	19	324
Control Vol. Total	246	223	275	371	782	1,000	798	948	1,169	615	304	280	7,011
RGB at Del Rio	245	222	275	369	780	998	796	947	1,167	614	303	279	6,996
RGB at Del Rio	245	222	275	369	780	998	796	947	1,167	614	303	279	6,996
<i>San Felipe & Pinto Creek</i>	6	5	5	6	8	10	9	7	9	6	6	6	85
<i>San Diego and San Rodrigo</i>	21	18	25	35	57	63	72	65	81	59	35	25	555
IF	0	-3	-4	-6	5	16	-8	-49	-9	14	3	0	-41
Control Vol. Total	272	242	300	405	851	1087	869	970	1248	693	345	310	7,593
RGB at Piedras Negras	272	242	300	405	851	1087	869	970	1248	693	345	309	7,591
RGB at Piedras Negras	272	242	300	405	851	1087	869	970	1248	693	345	309	7,591
<i>Rio Escondido</i>	4	3	4	8	11	12	12	11	10	7	5	4	92
IF	0	2	2	15	183	31	79	38	35	40	9	6	440
Control Vol. Total	276	247	306	427	1046	1130	960	1019	1293	741	359	320	8,123
RGB at Laredo	276	247	306	427	1046	1130	960	1019	1293	741	359	320	8,123
RGB at Laredo	276	247	306	427	1046	1130	960	1019	1293	741	359	320	8,123
<i>Rio Salado</i>	23	27	38	45	72	108	126	97	129	108	53	31	859
<i>Rio Alamo</i>	8	6	8	14	25	29	24	20	40	25	9	8	216
IF	10	6	12	10	-124	31	-9	6	37	41	10	18	49
Control Vol. Total	317	287	364	496	1019	1298	1101	1142	1499	916	431	377	9,247
RGB at Roma	317	287	364	496	1019	1298	1101	1142	1499	916	431	377	9,247
RGB at Roma	317	287	364	496	1019	1298	1101	1142	1499	916	431	377	9,247
<i>Rio San Juan</i>	38	43	71	96	134	188	194	212	260	166	75	46	1,523
Control Vol. Total	355	330	434	592	1154	1486	1295	1354	1759	1082	506	423	10,770
RGB below San Juan													

Elaboración propia con base a (Comisión Nacional de Irrigación, 1945).

Tabla 3.3. Resumen de resultados y comparación, balances de masas por afluente.

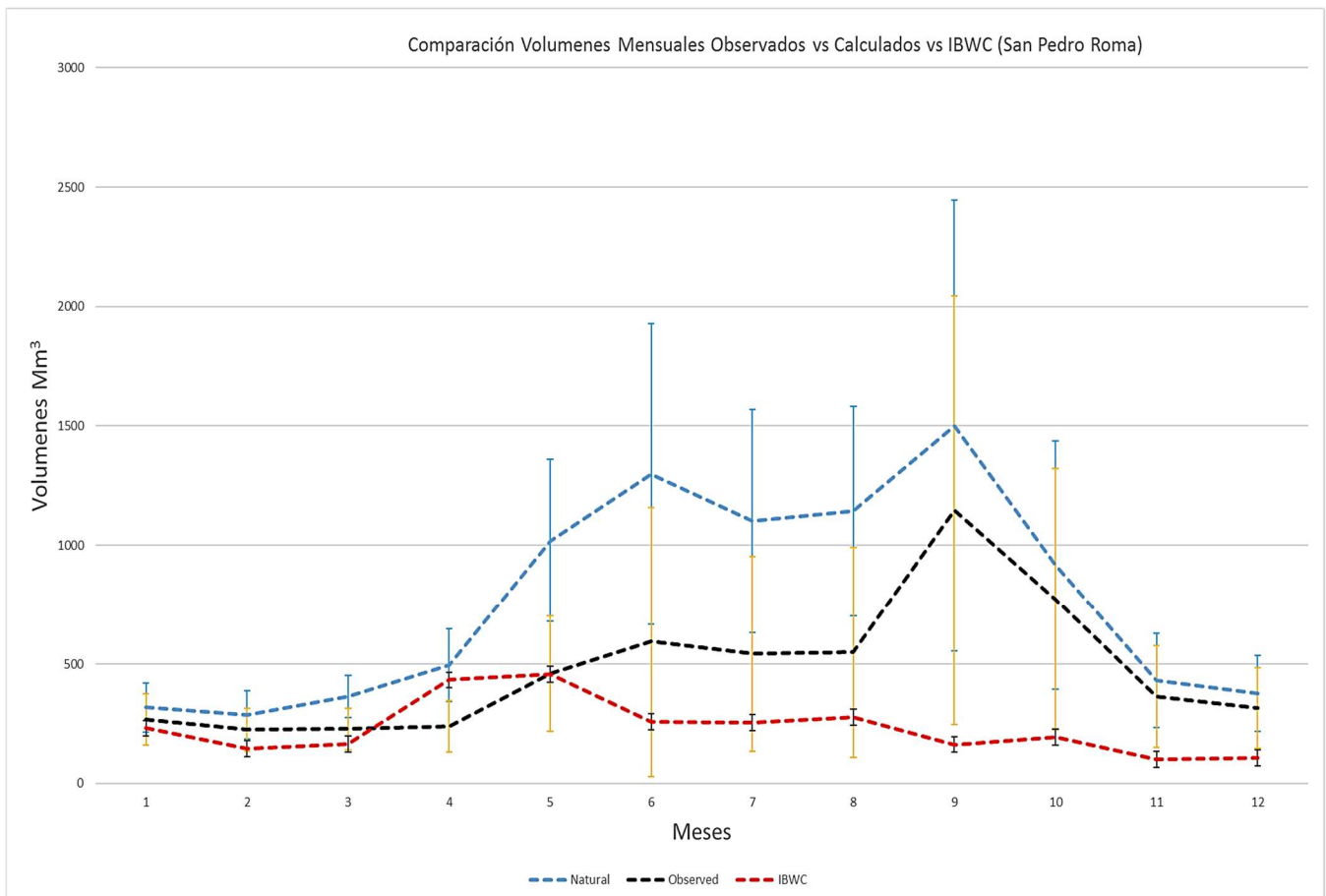
	Historico	Calculado
United States		
Alamito & Terlingua		75
San Felipe & Pinto		85
Deviils	2180	541
Pecos		1,054
Goodenough		126
Subtotal	2180	1,881
RGB at Ft. Quitman	133	167
Inc. Flows U.S.	734	645
Total	3,047	2,693
Mexico		
Conchos	2045	2,050
LV, SD & SR	418	555
Escondido		92
Salado	925	859
Alamo		216
San Juan	1557	1523
RGB at Ft. Quitman	133	167
Inc. Flows Mx	734	645
Total	5,812	6,107
	8,859	8,801
	2,323	2,323
Total	10,916	10,788
Diferencia	1.33 %	

Elaboración propia con base a (Comisión Nacional de Irrigación, 1945).

Finalmente, y considerando que se habían abordado los conceptos de eco-deficit e eco-surplus para el análisis del Río Conchos con buenos resultados, se optó por aplicar estos mismos conceptos al análisis desde la parte alta del Río Conchos hasta el Río San Juan.

Como conclusiones dentro de este análisis, se encontró que al aplicar los conceptos de eco-deficit e eco-surplus en primera instancia para el tramo del Río San Pedro Roma a manera de ejemplo, se encontró que la Huella de nieve se mantuvo durante todo el periodo de análisis (1900-1943) para los meses comprendidos desde Enero hasta Julio y a partir del mes de Agosto se observa más contribución por parte de la Huella por huracanes, es decir, que la huella por nieve se la quitaron, mientras que la generada por huracanes no. Con lo cual podemos comentar que los huracanes desde aquel entonces

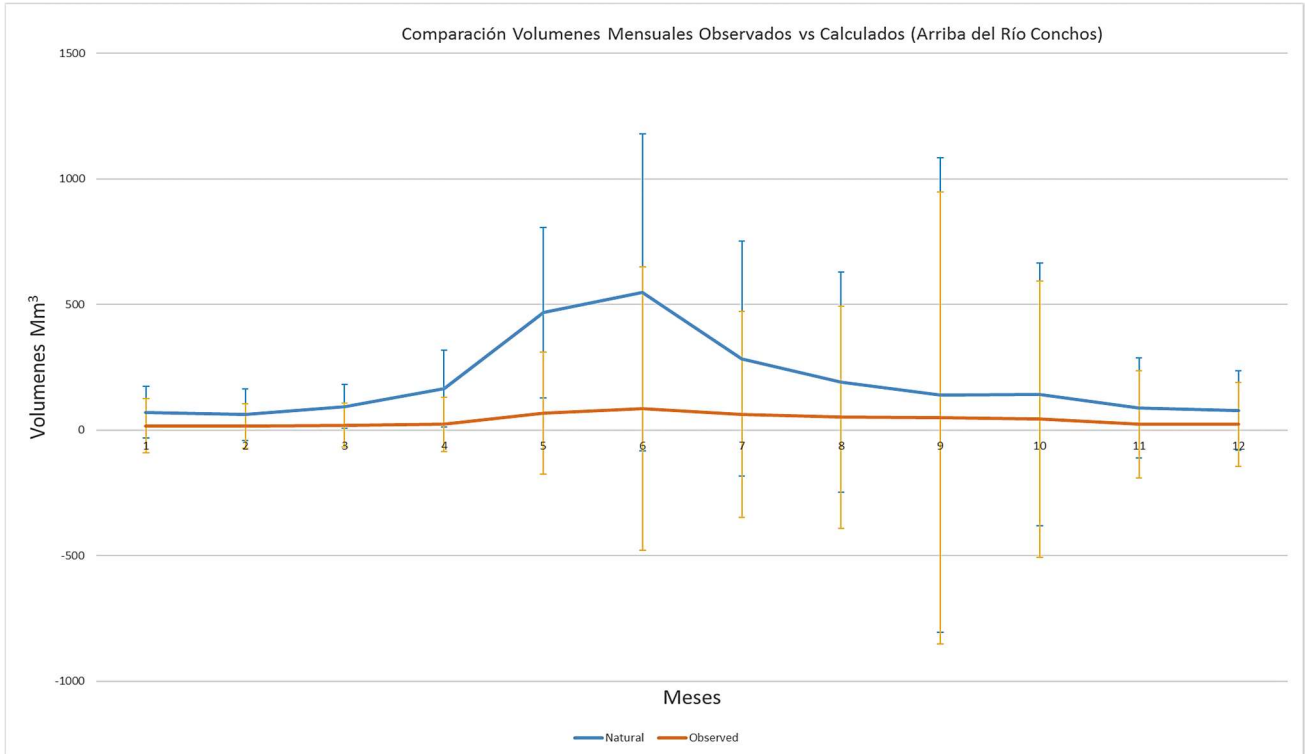
contribuían mucha aportación de agua, pero desafortunadamente esta agua no se aprovechaba a falta de presas. Como se aprecia en la grafica 3.3



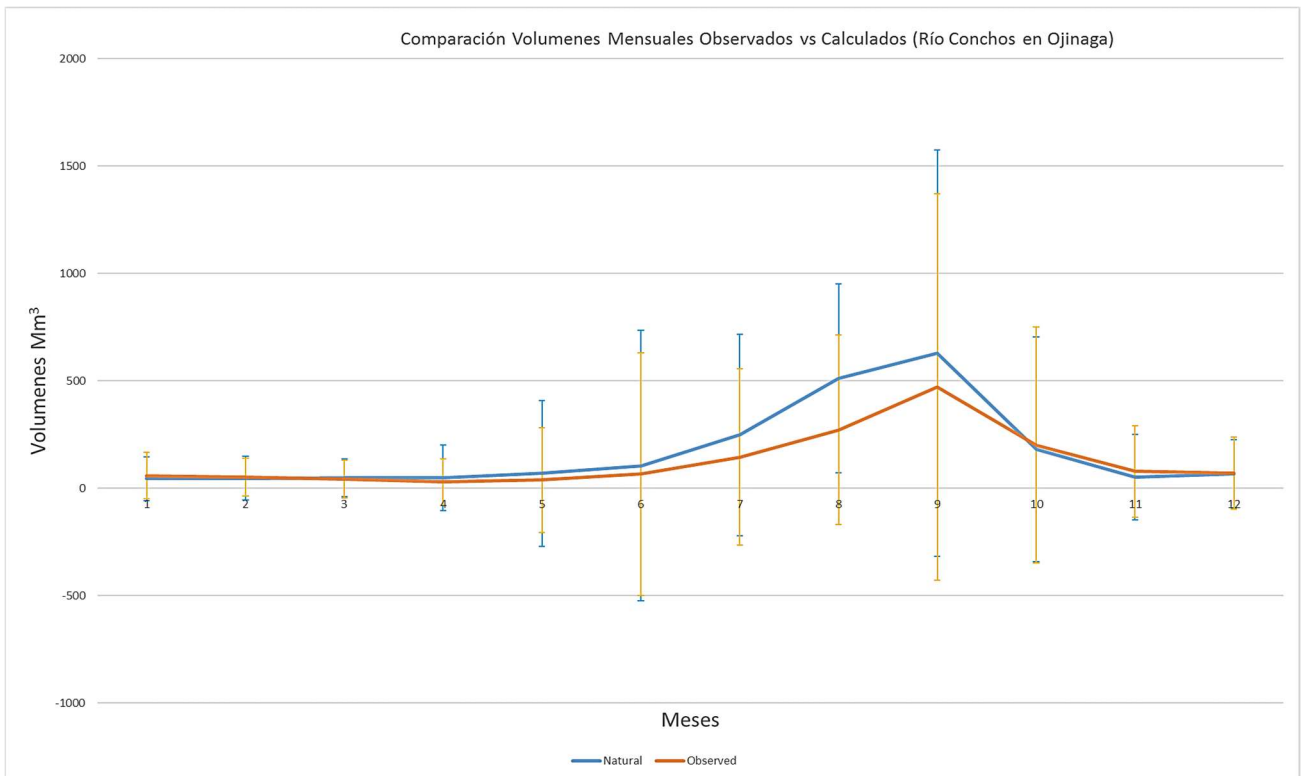
Grafica 3.3. Comparación de Volúmenes obtenidos de diferentes maneras para el punto de San Pedro Roma en el periodo de 1900-1943 y 1970-2010.

Se puede observar de igual manera en este punto, que solo se tiene presente el fenómeno de eco-deficit, es decir, que el caudal calculado o naturalizado es mayor que el caudal registrado u observado (tenemos menos agua de la que teníamos de forma natural) para el punto de San Pedro Roma. Esto es justificable puesto que, a diferencia del análisis del Río Conchos, donde se presentaron los dos fenómenos (eco-deficit e eco-surplus), conforme se va bajando en el Río Bravo se va perdiendo cada vez más agua (en las derivaciones).

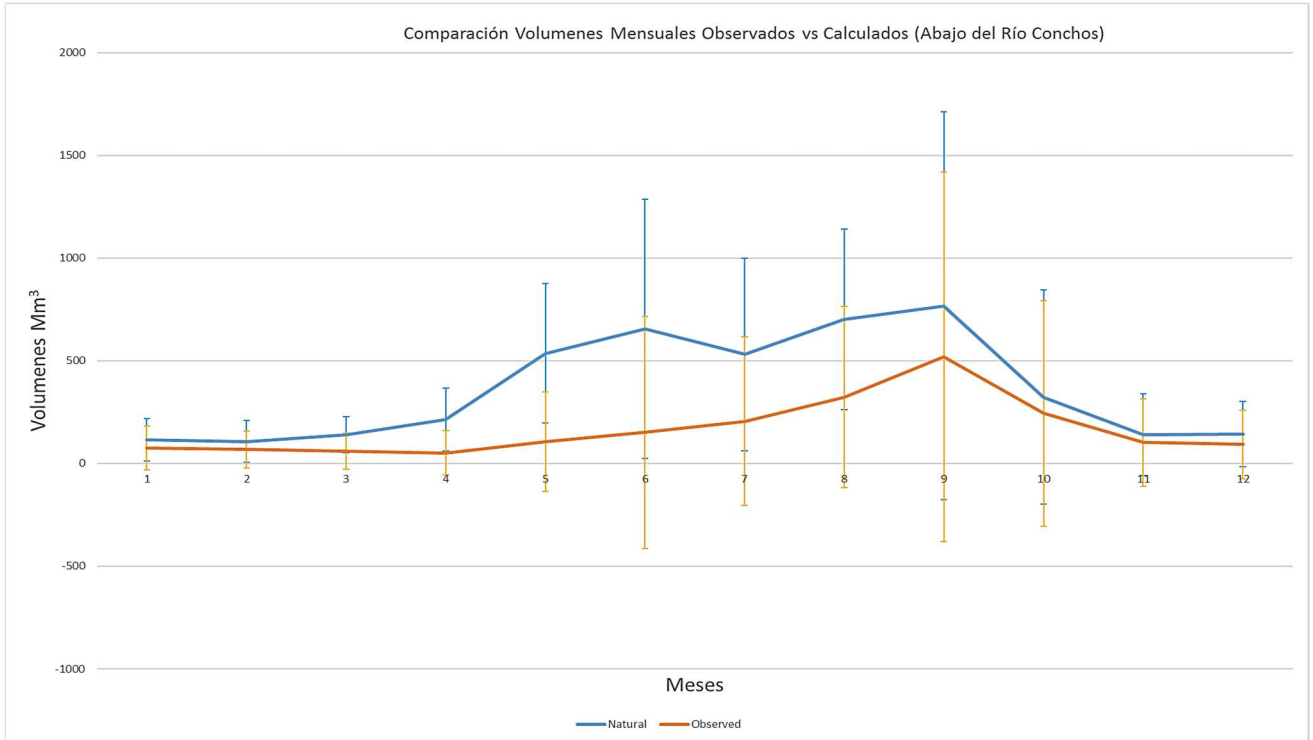
Este análisis (eco-deficit e eco-surplus) se realizó de igual forma para los diversos puntos o volúmenes de control registrado en esta investigación, los cuales son; arriba del Río Conchos, Río Conchos en Ojinaga, abajo del Río Conchos, Río Langtry, Del Río, Piedras Negras, Laredo, Río Salado, Río San Pedro Roma, Río San Juan y abajo del Río San Juan. Comparando en todos los casos los caudales naturales calculados con los caudales observados o medidos. Como se aprecia en las graficas 3.4 a la gráfica 3.13.



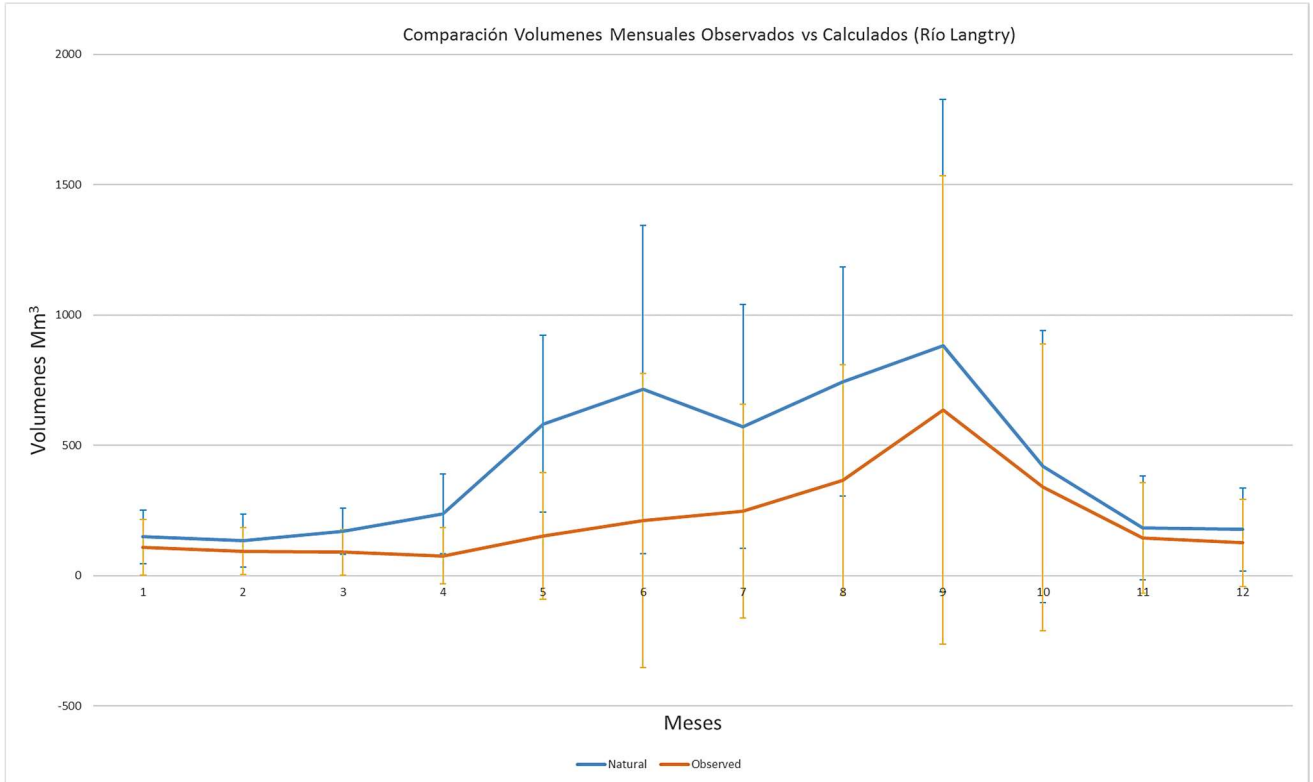
Grafica 3.4. Comparación de Volúmenes obtenidos de diferentes maneras para el punto arriba del Río Conchos en el periodo de 1900-1943.



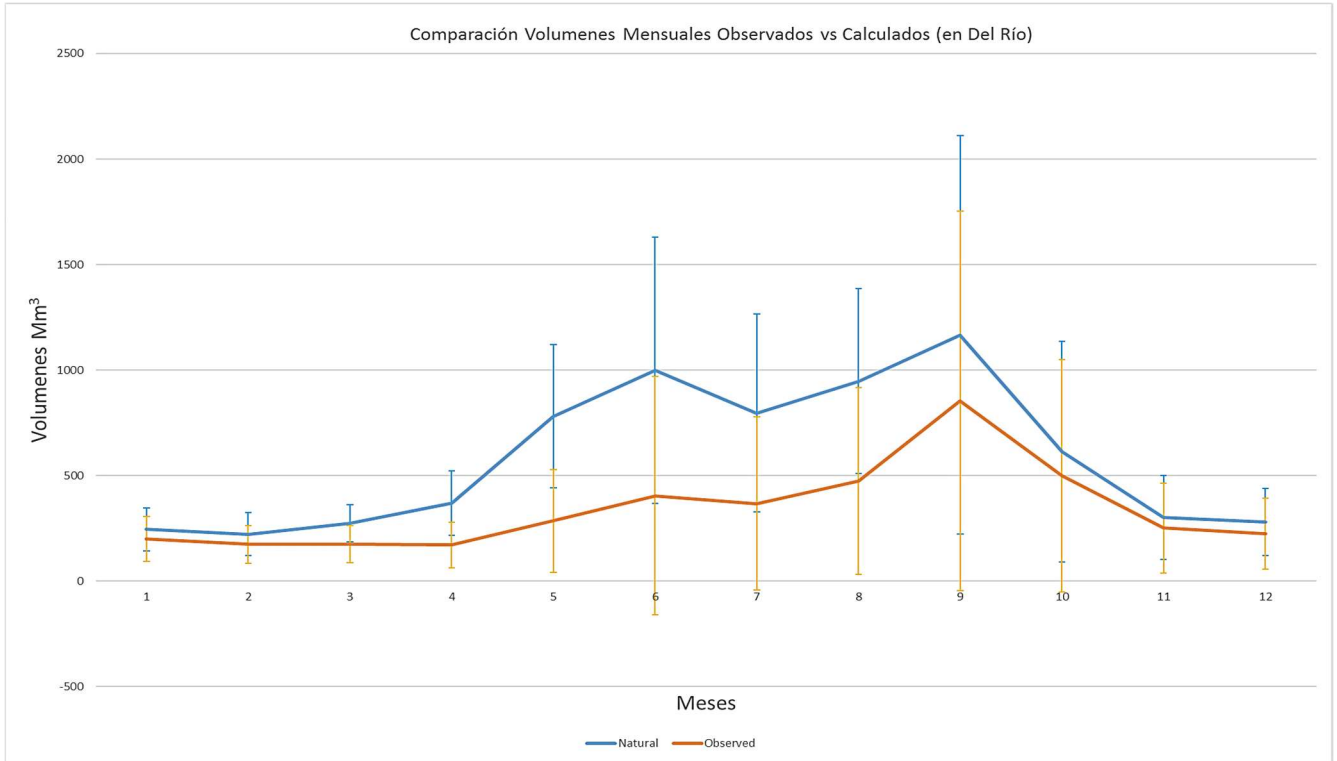
Grafica 3.5. Comparación de Volúmenes obtenidos de diferentes maneras para el punto del Río Conchos en Ojinaga en el periodo de 1900-1943.



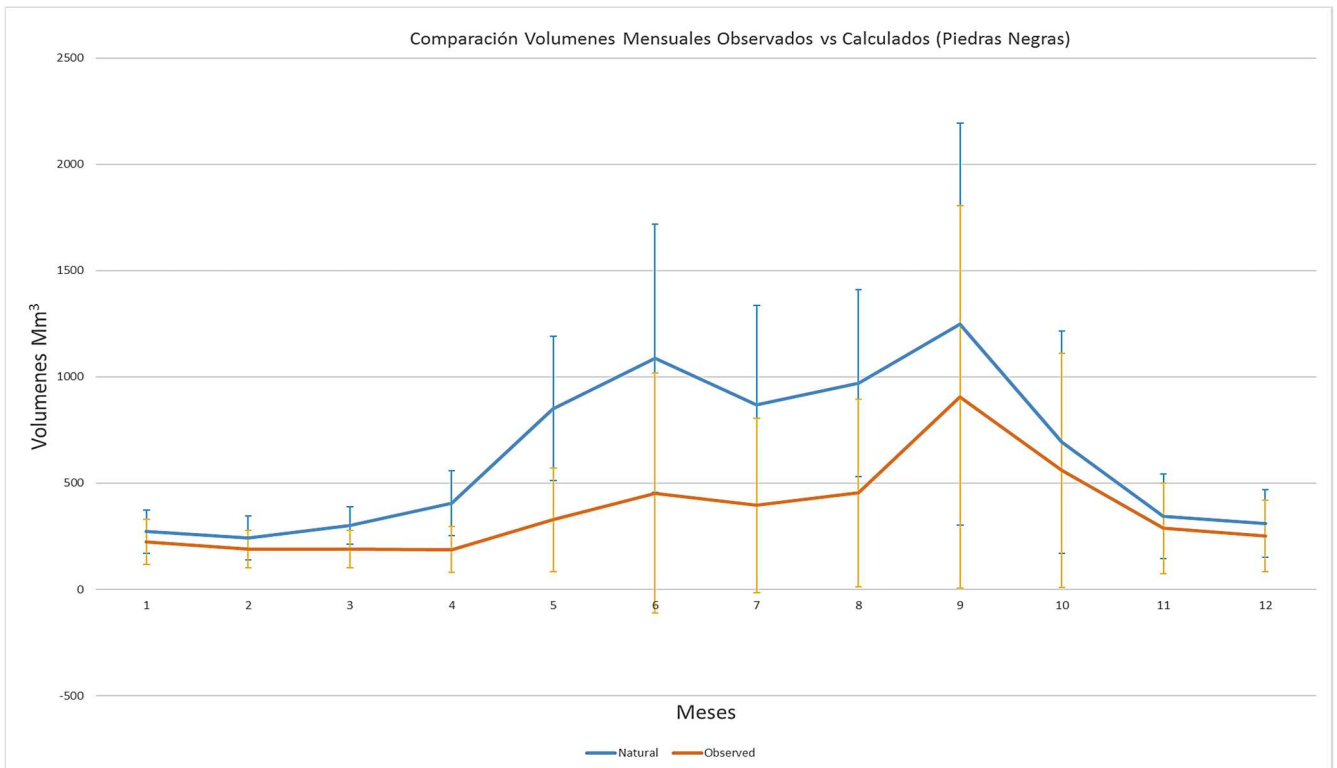
Grafica 3.6. Comparación de Volúmenes obtenidos de diferentes maneras para el punto abajo del Río Conchos en el periodo de 1900-1943.



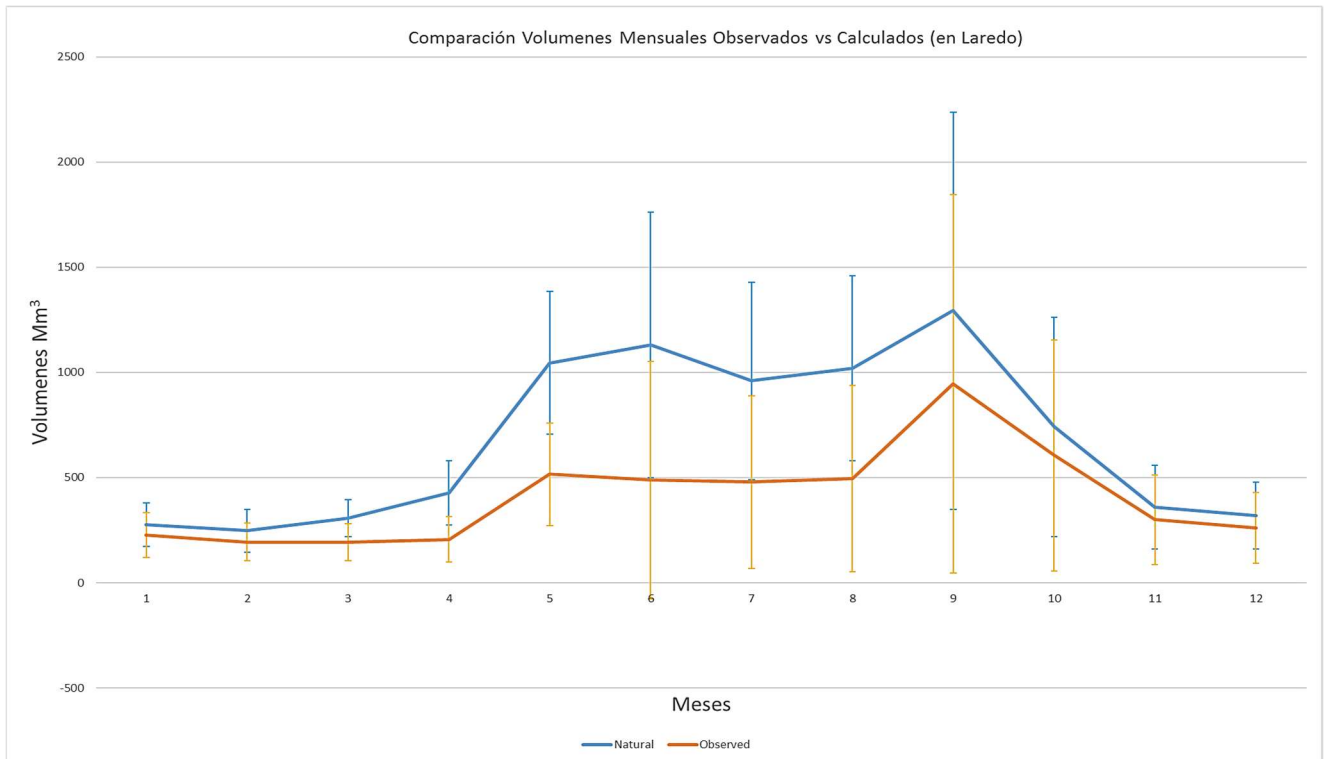
Grafica 3.7. Comparación de Volúmenes obtenidos de diferentes maneras para el punto del Río Langtry en el periodo de 1900-1943.



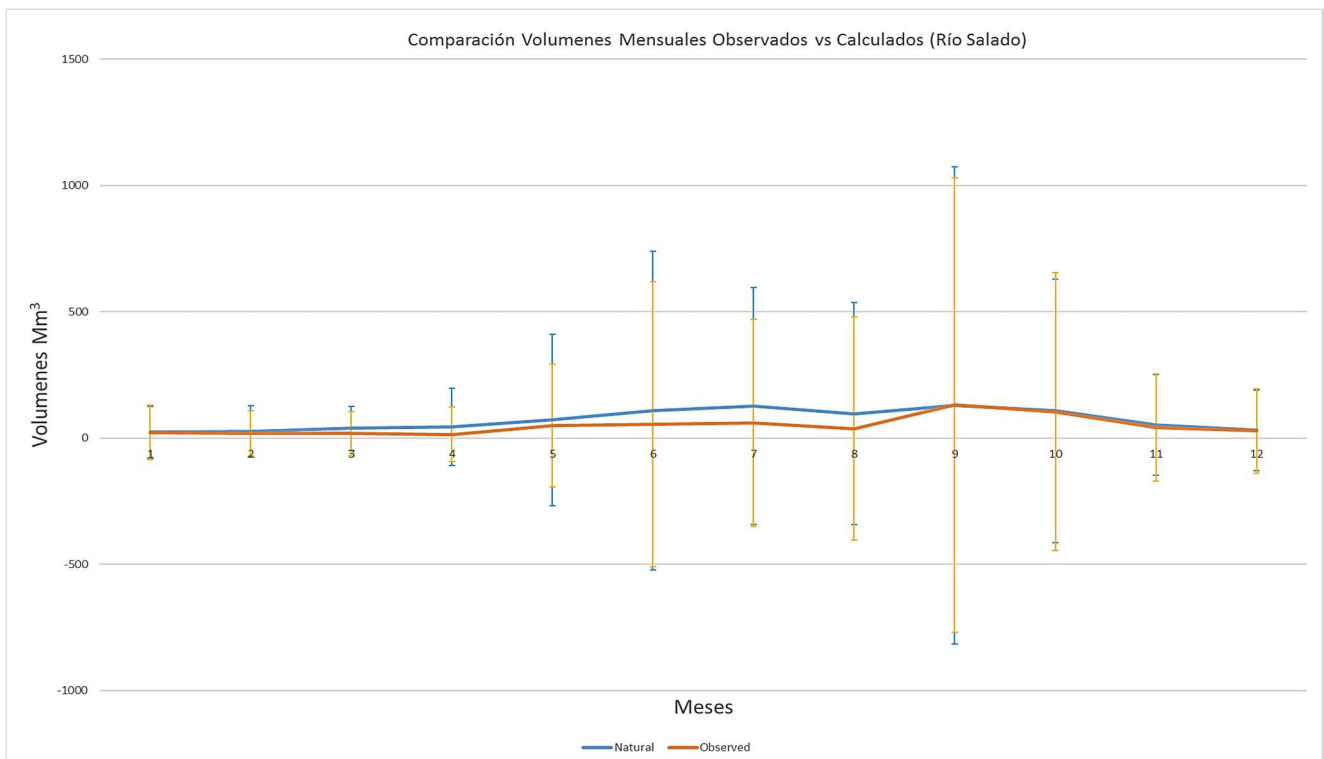
Grafica 3.8. Comparación de Volúmenes obtenidos de diferentes maneras para el punto Del Río en el periodo de 1900-1943.



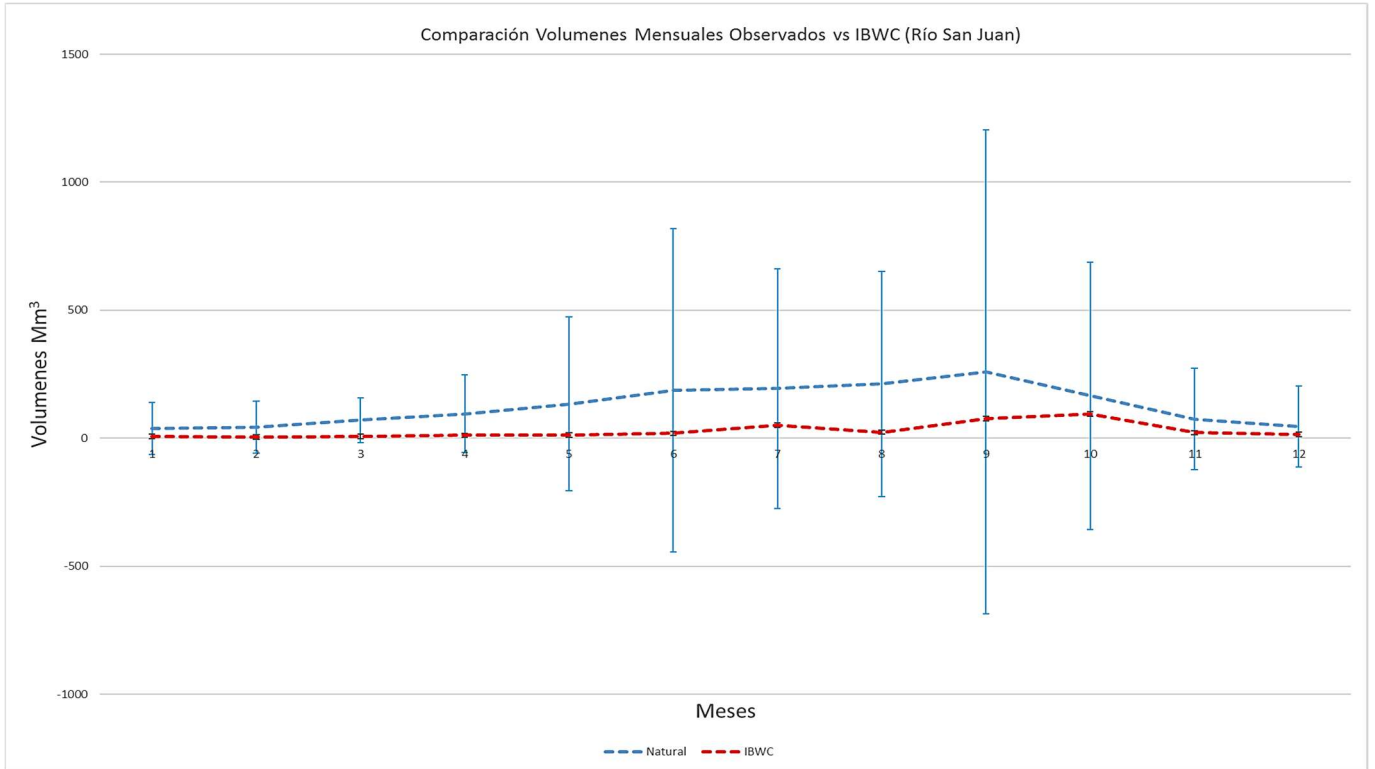
Grafica 3.9. Comparación de Volúmenes obtenidos de diferentes maneras para el punto de Piedras Negras en el periodo de 1900-1943.



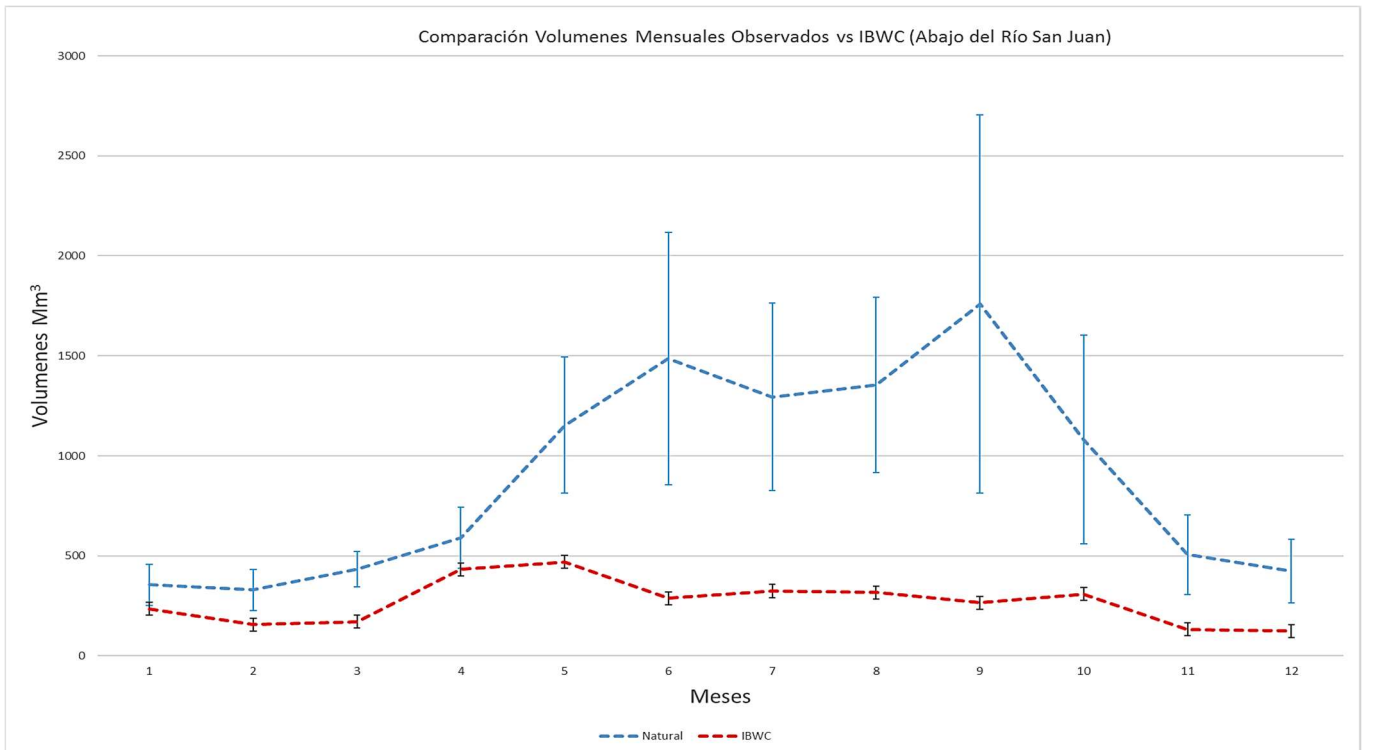
Grafica 3.10. Comparación de Volúmenes obtenidos de diferentes maneras para el punto de Laredo en el periodo de 1900-1943.



Grafica 3.11. Comparación de Volúmenes obtenidos de diferentes maneras para el punto del Río Salado en el periodo de 1900-1943.



Grafica 3.12. Comparación de Volúmenes obtenidos de diferentes maneras para el punto del Río San Juan en el periodo de 1900-1943 y 1970-2010.



Grafica 3.13. Comparación de Volúmenes obtenidos de diferentes maneras para el punto abajo del Río San Juan en el periodo de 1900-1943 y 1970-2010.

Es importante mencionar que solo para los puntos de San Juan y abajo del Río San Juan, debido a que no se contaba con datos de caudales observados o medidos, se tuvieron que emplear datos recientes de caudales observados, los cuales fueron obtenidos de la plataforma de la International Boundary & Water Commission, United States and Mexico (IBWC). Ver anexos 201 y 202, respectivamente. Por tanto, solo para estos dos puntos, la comparación se realizará tomando valores de caudales observados, pero a partir del año 1970 al año 2010, contra los valores de caudales naturales calculados en esos mismos puntos.

De igual forma se incluyó el análisis del periodo comprendido del año 1970-2010 con valores obtenidos del IBWC dentro del tramo del Río San Pedro Roma (ver anexo 203), siendo el único análisis que incluye tres periodos de tiempo.

III. 2 Obtención de la Huella Hídrica Azul histórica, en función de usos consuntivos netos.

Además, se encontró otra metodología para la obtención de la Huella Hídrica Azul histórica (1900-1943), en función de los usos consuntivos netos. Partiendo de que el uso consuntivo neto es el uso consuntivo total menos la precipitación.

Teniendo los valores de usos consuntivos netos (laminas en centímetros) para el periodo comprendido de 1900-1943. Se procedió a calcular los volúmenes de Huella Hídrica Azul en 12 puntos o volúmenes de control, los cuales fueron; DDR 005 Delicias, DDR 090 Bajo Río Conchos, DDR 103 Florido, Río Pecos (Volumen 1, 2, 3 y 4), Río San Diego, San Rodrigo y arroyo Las Vacas (estos 3 analizados como un solo punto), Río Escondido, DDR 004 Don Martín, Río Alamo y Río San Juan, empleando de igual forma las series de tiempo de áreas de cultivo que se encontraron en el estudio sobre Irrigación en México en el año 1945 (Comisión Nacional de Irrigación, 1945), así como en un estudio sobre el Río Pecos (Jensen, 2006). Empleando la ecuación 21.

$$\text{Huella Hídrica Azul} = (\text{lámina de uso consuntivo}) * (\text{Área de cultivo}) \quad (\text{Ec. 21}).$$

Donde:

Huella Hídrica Azul = Corresponde al volumen de Huella Hídrica Azul calculado para cada mes y cada año de análisis comprendido de 1900-1943 (Mm^3). Ver Anexos 19 al 21. Para los DDRs 005, 090 y 103.

Lamina de uso consuntivo neto = Corresponde a valores de laminas de usos consuntivos netos para cada mes y año de análisis de 1900-1943 para cada volumen de control (cm). Ver Anexos 22 al 24. Para los DDRs 005, 090 y 103.

Área de cultivo = Corresponde a los valores de áreas para cada volumen de control en los años de análisis (Ha). Ver anexo 25. Para los DDRs 005, 090 y 103.

La ecuación 21 se aplicó para punto o volumen de control. Para posteriormente sumar los valores de Huella Hídrica y obtener el total para el Río Bravo. En la tabla 3.4 se muestran los valores de Huella Hídrica promedio del Río Bravo conformado por los volúmenes de control antes mencionados. De igual forma se presenta de forma mensual en el anexo 26.

Es importante mencionar que este mismo procedimiento se aplicó para los restantes volúmenes de control (Río Pecos Volumen 1, 2, 3 y 4, Río San Diego, San Rodrigo y arroyo Las Vacas, Río Escondido, DDR 004 Don Martín, Río Alamo y Río San Juan), dichos volúmenes y láminas mensuales de Huella Hídrica azul, se presentan en los anexos de la siguiente manera:

Anexo 204. Láminas y volúmenes de HH azul. Río Pecos Volumen 1.

Anexo 205. Láminas y volúmenes de HH azul. Río Pecos Volumen 2.

Anexo 206. Láminas y volúmenes de HH azul. Río Pecos Volumen 3.

Anexo 207. Láminas y volúmenes de HH azul. Río Pecos Volumen 4.

Anexo 208. Láminas y volúmenes de HH azul. Río San Diego, San Rodrigo y arroyo Las Vacas.

Anexo 209. Láminas y volúmenes de HH azul. Río Escondido.

Anexo 210. Láminas y volúmenes de HH azul. DDR 004 Don Martín.

Anexo 211. Láminas y volúmenes de HH azul. Río Alamo.

Anexo 212. Láminas y volúmenes de HH azul. Río San Juan.

En la tabla 3.5 se presentan los valores promedio de láminas y volúmenes de Huella Hídrica azul para cada punto o volumen de control mencionado anteriormente, esto para el periodo comprendido de 1900-1943.

Tabla 3.5. Volúmenes y láminas de Huella Hídrica azul en los afluentes del Río Bravo.

Distrito de Riego/Volumenes de control	Láminas/Volumenes HH azul	
	HH Azul (cm)	HH Azul (Mm ³)
Delicias 005	97	151
Bajo Río Conchos 090	102	129
Río Florido 103	82	100
Río Pecos Volumen 1	62	29
Río Pecos Volumen 2	82	432
Río Pecos Volumen 3	93	53
Río Pecos Volumen 4	101	32
San Diego, San Rodrigo, Las Vacas	124	248
Escondido	131	51
Don Martín 004	101	407
Alamo	147	62
San Juan	144	990

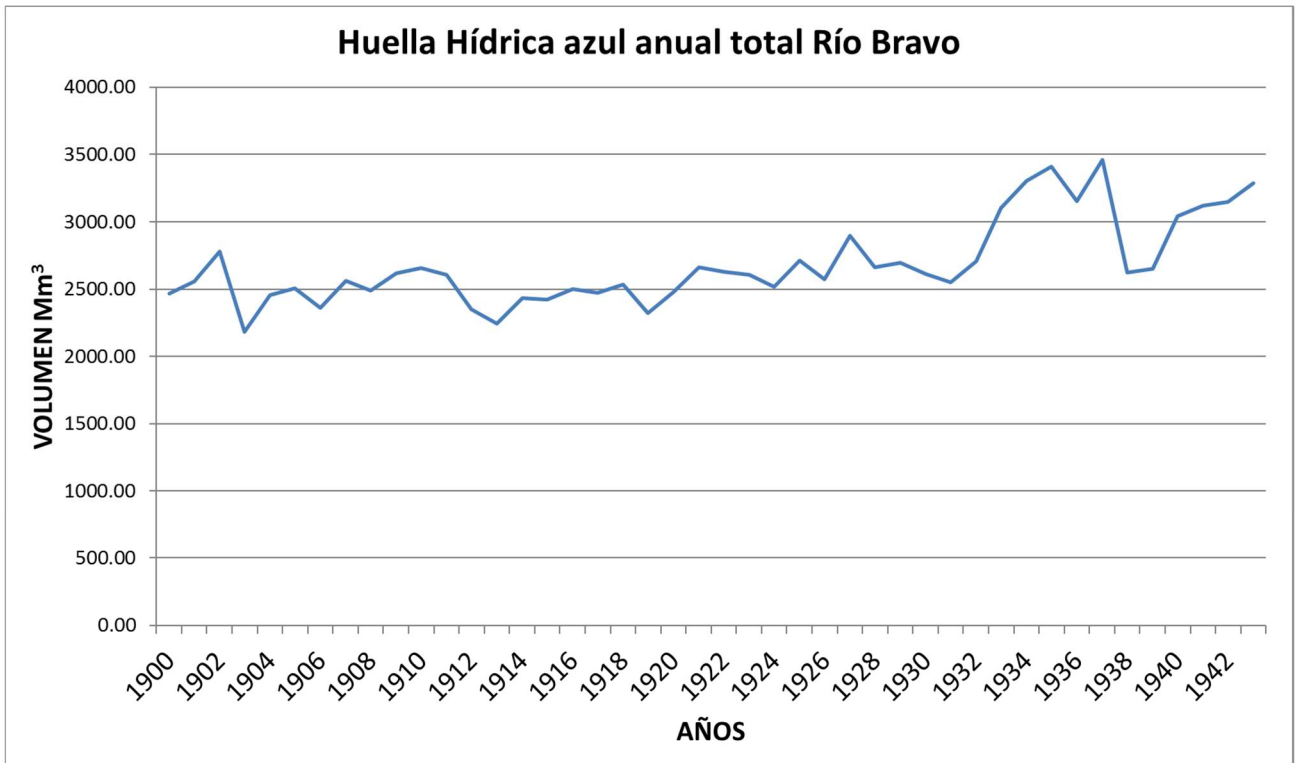
Elaboración propia con base a (Comisión Nacional de Irrigación, 1945).

Tabla 3.4. Volúmenes y láminas de Huella Hídrica azul total Río Bravo.

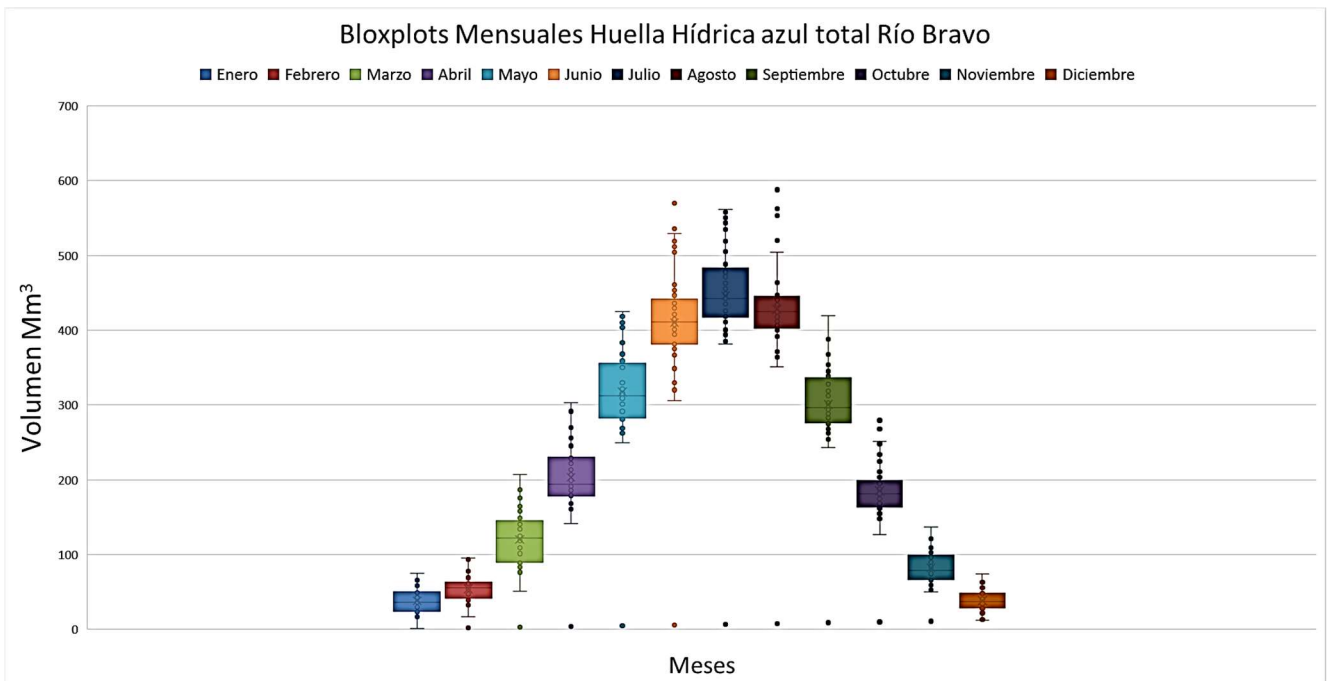
	HUELLA HÍDRICA AZUL (Mm ³)	Lamina (cm) Pesada
1900	2464.50	113.11
1901	2556.26	117.27
1902	2777.32	127.35
1903	2181.47	99.98
1904	2453.24	112.47
1905	2507.75	114.92
1906	2363.34	108.25
1907	2559.50	117.18
1908	2489.11	115.49
1909	2615.14	120.70
1910	2658.04	121.50
1911	2605.09	119.15
1912	2351.65	107.41
1913	2240.76	102.21
1914	2434.26	109.16
1915	2420.18	110.09
1916	2500.78	112.57
1917	2471.77	110.11
1918	2535.10	111.77
1919	2323.54	101.49
1920	2475.58	107.14
1921	2663.72	114.23
1922	2629.00	111.72
1923	2606.27	109.76
1924	2515.63	106.65
1925	2710.37	114.05
1926	2573.75	108.26
1927	2897.59	121.83
1928	2662.12	111.89
1929	2692.83	113.13
1930	2612.08	109.69
1931	2548.26	104.21
1932	2708.66	107.27
1933	3104.18	115.34
1934	3305.97	114.96
1935	3407.32	112.45
1936	3150.74	102.56
1937	3461.08	109.62
1938	2622.99	111.87
1939	2648.83	113.09
1940	3043.70	109.41
1941	3118.41	107.24
1942	3148.67	107.42
1943	3289.73	114.04
PROMEDIO	2684.23	111.59

Elaboración propia con base a (Comisión Nacional de Irrigación, 1945).

Lo cual se aprecia mejor en las gráficas 3.14 y 3.15.



Grafica 3.14. Comportamiento de los volúmenes de Huella Hídrica Azul en el periodo de 1900-1943. Río Bravo.



Grafica 3.15. Representación de la dispersión y simetría de los volúmenes de Huella Hídrica Azul en el periodo de 1900-1943. Río Bravo.

En la gráfica 3.14 se puede observar que los volúmenes de Huella Hídrica Azul se van incrementando en la región del Río Conchos, conforme transcurren los años. Esto se presenta debido a que cada año aumenta la superficie de riego en cada uno de los Distritos de Riego considerados (esto se puede apreciar más claramente en el Anexo 25 de esta investigación).

III.3 Comparativa de las 2 formas de obtención de HH Azul.

Debido a que los resultados de Huella Hídrica Azul obtenidos en los capítulos III.1 y III.2 poseen diferentes interpretaciones (gráfico y numérico, respectivamente), no es posible realizar una comparativa directa. Sin embargo, se consideran ambas como herramientas fundamentales para el análisis de este indicador y poder conocer la distribución de los volúmenes de agua proveniente directamente de los cuerpos de agua (ríos).

Para la metodología III.1. se observa que en los meses donde la temperatura comienza a incrementarse, los consumos y extracciones se vuelven considerablemente mayores (Marzo a Septiembre), esto se vio claramente al presentarse el fenómeno de eco-deficit. Pues se observó un menor volumen que el generado naturalmente.

Cuando se aplica la metodología III.1 desde la parte alta del Río Conchos hasta la parte baja del Río San Juan, en la mayor parte de los puntos de control donde se aplicaron los conceptos de eco-deficit e eco-surplus, se presentó en mayor medida el fenómeno de eco-deficit. Finalmente, realizando una resta entre el valor de caudal calculado promedio y el medido promedio, se pudo obtener el valor de Huella Hídrica Azul para todo el periodo de análisis, obteniéndose para el punto de San Pedro Roma un valor de 3,548 Mm³ para el periodo comprendido de 1900-1943, el cual al compararlo con el valor de Huella Hídrica Azul más verde promedio destinada a la agricultura del periodo de 2004-2017 igual a 1,804.92 Mm³ (obtenido con la metodología explicada en el capítulo IV.1.1). Esta diferencia tan marcada se justifica por la creación de las presas internacionales en la región, que dicho sea de paso nos ayudan a controlar el Río y a obtener derivaciones para la agricultura, además de que el volumen de 1,804.92 Mm³, solo representa el volumen destinado para ciertas actividades específicas.

Por lo antes mencionado, para futuras investigaciones se podría realizar el mismo análisis que se presenta en esta investigación, con la variante de considerar las presas internacionales (presa de La Amistad y Acuña Falcón).

Para la segunda metodología aplicada en el apartado III.2 se pueden observar los volúmenes de Huella Hídrica Azul de manera cuantitativa, para el periodo de años comprendido de 1900-1943, notándose claramente que estos valores se incrementan conforme transcurren los años. Esto es lógico, pues se observa claramente que parámetros como usos consuntivos netos, derivaciones, retornos y evaporaciones, no varían mucho con respecto al tiempo, sin embargo, las áreas son el parámetro que se incrementa de manera significativa con el pasar de los años.

Estos volúmenes de Huella Hídrica Azul son importantes, pues como se verá en capítulos posteriores se obtendrán los mismos volúmenes de Huella Hídrica para condiciones presentes y con ello se podrá tener una idea más clara del cambio en la distribución de agua destinado a la agricultura en la Región del Río Bravo.

CAPÍTULO IV. CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE.

IV.1 Definición, métodos de cálculo.

La Huella Hídrica verde es un indicador del uso humano del agua de lluvia. Principalmente la precipitación sobre la tierra que no se infiltra ni escurre, sino que permanece en el suelo o en la vegetación. Es la parte de la precipitación que se evaporará o que transpirarán las plantas (SEMARNAT, 2017).

Para esta investigación en primera instancia se hizo necesario obtener en primera instancia la Huella Hídrica Azul más verde bajo condiciones actuales (2004-2017), en lo referente a actividades agrícolas.

Posteriormente se obtuvo la Huella Hídrica Azul más verde bajo condiciones pasadas (1900-1943), en función de usos consuntivos totales. Para finalmente obtener la Huella Hídrica Verde, restando la Huella Hídrica Azul más Verde la Huella Hídrica Azul obtenida en el capítulo III.2.

IV.1.1 Obtención de la Huella Hídrica Azul más Verde para condiciones actuales, en función de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego.

Saber que para poder obtener la Huella Hídrica de algún cultivo ya sea dentro de un distrito de riego (DR) o unidad de riego (UR), lo primero que se debe realizar es identificar la zona donde se localiza dicho Distrito de Riego para poder determinar las condiciones climáticas del sitio pues son este factor determinante para el requerimiento de agua de cualquier cultivo, lo cual posteriormente servirá en el cálculo de la Huella Hídrica.

Un distrito de riego (DR) es preponderantemente una zona geográfica que puede definirse como: conjunto de canales de riego, una o más fuentes comunes de abastecimiento de agua y las áreas de cultivo, relativamente compactas, que cuenta con decreto de creación por parte del poder ejecutivo federal, con un título de concesión otorgado a los usuarios organizados en asociaciones civiles para uso de las aguas y la administración, operación y conservación de la infraestructura hidroagrícola federal (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2013).

Es importante mencionar que los Distritos de Riego (DR) a considerar son 13; DR004 Don Martín/Nuevo León, DR005 Delicias/Chihuahua, DR006 Palestina/Coahuila, DR009 Valle de Juárez/Chihuahua, DR025 Bajo Río Bravo/Tamaulipas, DR026 Bajo Río San Juan/Tamaulipas, DR031 Las Lajas/Nuevo León, DR042 Buena Aventura/Chihuahua, DR050 Acuña Falcón/Tamaulipas, DR089 El Carmen/Chihuahua, DR090 Bajo Río Conchos/Chihuahua, DR103 Río Florido/Chihuahua, DR113 Alto Río Conchos/Chihuahua.

Con ayuda de personal del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), pudimos localizar de forma precisa la ubicación de las parcelas que conforman cada Distrito de Riego, esto mediante una extensión del software Google Earth Pro, donde se muestra dicha localización. En la figura 4.1 se observa la localización parcelaria del Distrito de Riego 090 Bajo Río Conchos a manera de ejemplo.

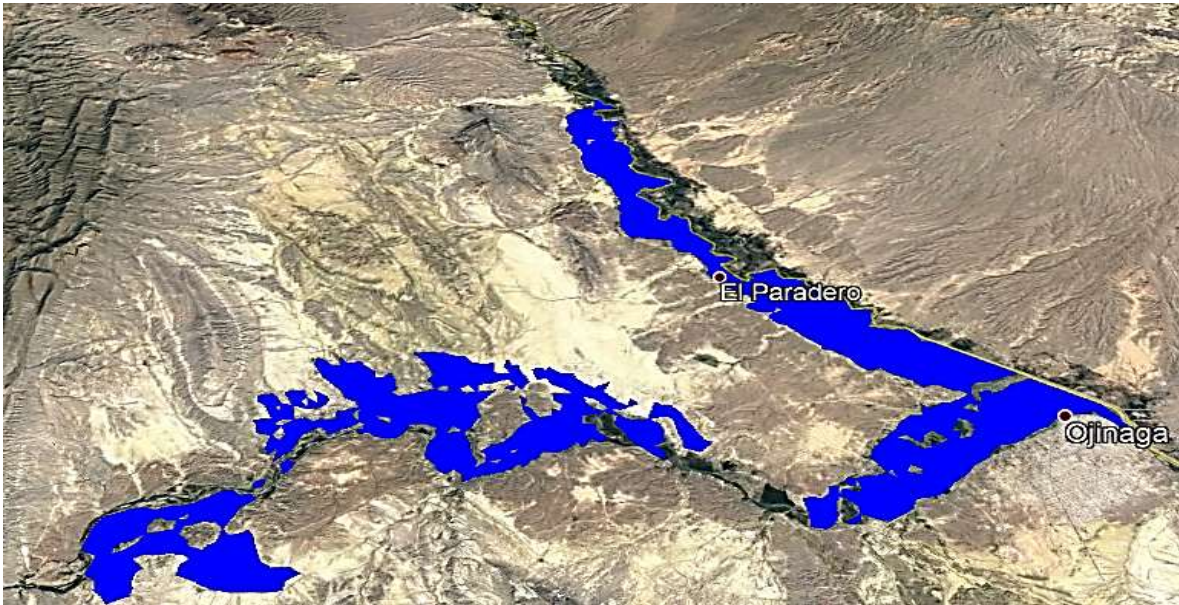


Figura 4.1. Localización del Distrito de Riego 090 Bajo Río Conchos, Chihuahua. Mediante Google Earth Pro.

Una vez localizados todos los Distritos de Riego y su distribución en la República Mexicana. Se procedió a la localización de las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, correspondiente a los años agrícolas 2004 al 2017. Resultando una tarea no tan sencilla, debido a que en algunos años no se emitieron. Las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego es un documento que contiene información de superficie sembrada, cosechada, rendimiento, producción, precio medio rural y valor de producción.

De igual manera dentro de estas se incluyen los volúmenes de agua totales usados para el riego de cultivos, extraídos de las fuentes de abastecimiento. La estadística agrícola e hidrométrica, indica la situación en que se encuentra la producción agrícola, los volúmenes usados y las superficies regadas en este sector agrícola, como se aprecia en las tablas 4.1 para el Distrito de Riego Bajo Río Conchos para el año agrícola 2016-2017 a manera de ejemplo (Comisión Nacional del Agua, 2016).

Tabla 4.1. Estadísticas Agrícolas del Distrito de Riego 090 Bajo Río Conchos, Chihuahua (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, 2016).

Cultivo	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción (Miles de Ton)	PMR (\$/Ton)	Valor de la Producción (Miles de \$)
0011 - Alfalfa Verde	1,428.5	1,428.5	84.00	119.99	553.0	66,356.68
0012 - Algodón	649.3	649.3	4.80	3.12	11,562.0	36,034.59
0022 - Avena Forrajera Verde	366.6	366.6	31.00	11.36	702.0	7,977.95
0134 - Maíz Grano	14.0	14.0	1.35	0.02	3,200.0	60.48
0147 - Melón	1.0	1.0	27.50	0.03	3,750.0	103.13
0156 - Nogal (Nuez)	729.9	248.6	2.80	0.70	108,000.0	75,176.64
0168 - Otras Hortalizas	59.3	59.3	8.50	0.50	3,500.0	1,764.18
0206 - Rye Grass (Zacate) Verde	239.3	239.3	75.00	17.95	890.0	15,973.28
0211 - Sorgo Forrajero Verde	513.2	513.2	71.22	36.55	351.0	12,829.30
0228 - Trigo Grano	175.5	175.5	4.30	0.75	3,600.0	2,716.59

Conocidos los principales cultivos que se realizan en la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo para cada año agrícola a partir de 2004-2005 y hasta el año agrícola 2016-2017.

A manera de ejemplo, a continuación, se presentan los principales cultivos que se realizan en la Región Hidrológico-Administrativa VI para el año agrícola 2016-2017. Este mismo procedimiento se aplicó para cada año agrícola comprendido de 2004 a 2017. Dicha información se obtuvo directamente de SEMARNAT (2017):

DR004 Don Martín, Nuevo León: Avena Forrajera Verde, Búffel (Zacate) Verde, Maíz Grano, Rye Grass (Zacate) Verde, Sorgo Escobero, Sorgo Forrajero Verde, Sorgo Grano, Soya Industrial, Trigo Grano.

DR005 Delicias, Chihuahua: Alfalfa Verde, Algodón, Cacahuate Frutal, Cebolla, Chile Verde, Nogal (Nuez), Sandía.

DR006 Palestina, Coahuila: Alfalfa Verde, Avena, Avena Forrajera Verde, Bermuda (Zacate) Verde, Búffel (Zacate) Verde, Frijol (Alubia), Klein Grass (Zacate) Verde, Maíz Grano, Nogal (Nuez), Otros Forrajes Verde, Rye Grass (Zacate) Verde, Sandía, Sorgo Escobero, Sorgo Forrajero Verde, Trigo Grano, Triticale Forrajero Verde.

DR009 Valle de Juárez, Chihuahua: Alfalfa Verde, Algodón, Avena Forrajera Verde, Nogal (Nuez), Rye Grass (Zacate) Verde, Sorgo Forrajero Verde, Sudan (Zacate) Verde, Trigo Grano, Pastos (Verde).

DR025 Bajo Río Bravo, Tamaulipas: Algodón, Búffel (Zacate) Verde, Chile Verde, Colza (Canola/Mostaza), Maíz Grano, Okra, Sábila (Aloe), Sorgo Grano, Soya Industrial, Zanahoria.

DR026 Bajo Río San Juan, Tamaulipas: Alfalfa Verde, Algodón, Berenjena, Bermuda (Zacate) Verde, Búffel (Zacate) Verde, Chile Verde, Frijol (Alubia), Maíz Grano, Maíz



Palomero, Melón, Nopal Verdura, Pepino Invernadero, Sandía, Sorgo Forrajero Verde, Sorgo Grano, Soya Industrial, Tomate de Cáscara (Tomatillo).

DR031 Las Lajas, Nuevo León: Búffel (Zacate) Verde, Maíz Grano, Sorgo Forrajero Verde, Sorgo Grano, Soya Industrial.

DR042 Buenaventura, Chihuahua: Alfalfa Verde, Algodón, Avena, Chile Verde, Frijol (Alubia), Maíz Grano, Manzano, Nogal (Nuez), Sorgo Grano, Trigo Grano, Pastos (Verde).

DR050 Acuña Falcón, Tamaulipas: Avena Forrajera Verde, Búffel (Zacate) Verde, Maíz Grano, Nogal (Nuez), Sandía, Sorgo Forrajero Verde.

DR089 El Carmen, Chihuahua: Alfalfa Verde, Algodón, Cacahuete Frutal, Chile Verde, Nogal (Nuez), Sorgo Grano, Trigo Grano.

DR090 Bajo Río Conchos, Chihuahua: Alfalfa Verde, Algodón, Avena Forrajera Verde, Maíz Grano, Melón, Nogal (Nuez), Hortalizas, Rye Grass (Zacate) Verde, Sorgo Forrajero Verde, Trigo Grano.

DR103 Río Florido, Chihuahua: Alfalfa Verde, Avena Forrajera Verde, Chile Verde, Frijol (Alubia), Maíz Forrajero Verde, Maíz Grano, Nogal (Nuez), Sorgo Forrajero Verde.

DR113 Alto Río Conchos, Chihuahua: Alfalfa Verde, Cebolla, Chile Verde, Maíz Forrajero, Nogal (Nuez).

Así mismo se identificaron las estaciones climatológicas dentro o cercanas a cada Distrito de Riego antes mencionados, empleando una extensión del programa Google Earth Pro. Esto de vital importancia para la obtención de datos referentes a precipitación, temperaturas máximas y mínimas, velocidades del viento, humedades relativas y radiación solar (obtenidos del software ERIC III, del IMTA) En la figura 4.2, se aprecian algunas estaciones climatológicas que se encuentran dentro del Distrito de Riego 005 Delicias a manera de ejemplo.

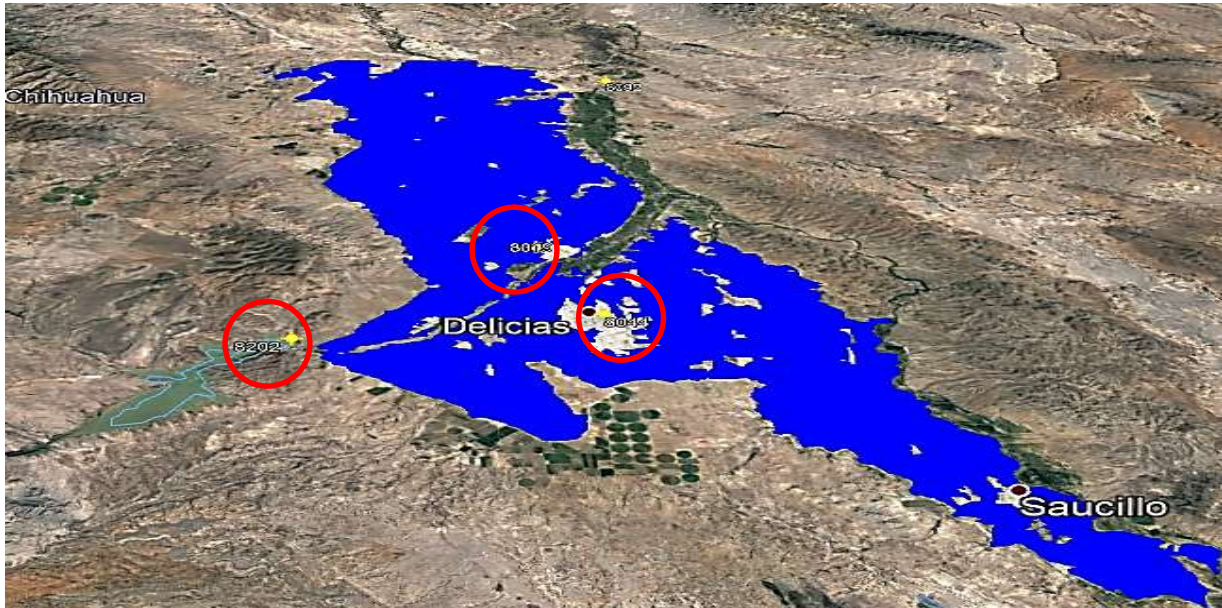


Figura 4.2. Estaciones climatológicas cercanas al Distrito de Riego 005 Delicias, Chihuahua. Mediante Google Earth Pro.

Encontrándose diferente número de estaciones climatológicas en cada DR; DR004 Don Martín (5), DR005 Delicias (14), DR006 Palestina (5), DR009 Valle de Juárez (7), DR025 Bajo Río Bravo (10), DR026 Bajo Río San Juan (12), DR031 Las Lajas (8), DR042 Buena Aventura (2), DR050 Acuña Falcón (11), DR089 El Carmen (11), DR090 Bajo Río Conchos(5), DR103 Río Florido (12), DR113 Alto Río Conchos (8). Las cuales se especifican en las tablas 4.6 a la tabla 4.18 por Distrito de Riego.

IV.1.2 Introducción al Programa CROPWAT 8.0, para la obtención del requerimiento de agua en cada cultivo de la región.

Aspectos como el requerimiento de agua total de cada cultivo priorizado, la lluvia efectiva y los requerimientos de irrigación fueron estimados utilizando el software Cropwat 8.0 © 2000-2006, diseñado por la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés).

Es un programa gratuito disponible en la web de la FAO, la última versión es la 8.0 bajo Windows.

Los cálculos que realiza el programa se basan en las directrices de la FAO, tal como se establece en su publicación No. 56 de la “Serie Riego y Drenaje”: Evapotranspiración del cultivo-Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

Importante es mencionar que la obtención de la Huella Hídrica mediante esta metodología se divide en 3 apartados: 1) clasificación y ordenamiento de la información, 2) Introducción de aspectos climáticos al programa Cropwat 8.0 y 3) obtención de la Huella Hídrica Azul más Verde, basado previamente en el requerimiento de agua obtenido con este software.

La metodología que se presenta en este capítulo ha sido aplicada por diferentes investigadores en México. Dichas investigaciones fueron publicadas en el libro Huella Hídrica en México: análisis y perspectivas. Editado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en colaboración con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en el año 2017 (SEMARNAT, 2017).

El programa se clasifica en ocho módulos, de los cuales en esta investigación se emplearon los cuatro primeros, que son módulos de datos de entrada (clima/Eto, precipitación, cultivo y suelo), de igual forma se empleo solo un módulo de cálculo (requerimiento de agua de los cultivos).

Como se mencionó anteriormente, de las Estadísticas agrícolas de los distritos de riego, se utilizó la información de los cultivos a los que se les determinó la HH Azul más Verde, en lo referente a superficies sembradas y cosechadas, rendimiento del cultivo y su producción, para los ciclos agrícolas desde el año 2004 hasta el año 2017.

Se extrajo la información climatológica (precipitación media mensual, temperatura máxima promedio mensual y temperatura mínima promedio mensual) de las estaciones de cada Distrito de Riego (tablas 4.6 a la 4.18) en la base de datos ERIC III (figura 4.3). En la tabla 4.2 se observan los valores de temperaturas máximas promedios mensuales del Distrito de Riego 004 Don Martín para el año agrícola 2016-2017, de esa forma se obtuvieron y representaron los valores de temperaturas mínimas promedio mensuales y precipitación para cada Distrito de Riego y para cada año agrícola considerado en este estudio (2004-2017).

Edo.	Clave	Nombre	Long. (W)	Latitud	Altitud	Primer	Ultimo Compl.
Gto.	011026	HACIENDA SAN JUAN	-100.921	21.469	2120	01/1961	04/1999
Gto.	011027	IRAMUCO	-100.917	19.983	1840	09/1929	08/1979
Gto.	011028	IRAPUATO	-101.337	20.668	1729	05/1903	12/2014
Gto.	011029	JALPA	-101.987	20.879	1753	02/1963	02/1992
Gto.	011030	JARAL DE BERRIOS	-101.024	21.695	1859	05/1941	06/2014
Gto.	011031	JERECUARO	-100.519	20.143	1787	04/1923	12/2014
Gto.	011032	SANTA CRUZ JUVENTINO ROS	-101.136	20.221	1761	01/1996	10/2014
Gto.	011033	LA BEGOÑA	-100.826	20.848	1850	01/1961	12/2014
Gto.	011034	LA GOLONDRINA	-101.718	20.434	1795	06/1970	12/2014
Gto.	011035	LA SANDIA	-101.698	20.921	1771	04/1962	06/2014
Gto.	011036	ADJUNTAS	-101.844	20.675	1727	07/1943	12/2014
Gto.	011037	LAS MESAS	-100.444	21.503	1324	01/1961	12/1995
Gto.	011038	MOGOTES	-101.285	20.420	1731	12/2011	04/2014
Gto.	011039	LEON (SMN)	-101.667	21.100	1800	01/1971	12/1985
Gto.	011040	LOS CASTILLOS	-101.668	21.195	1865	08/1946	10/2014
Gto.	011041	LOS RAZOS	-101.149	20.676	1768	03/1965	07/2014
Gto.	011042	LOS RODRIGUEZ	-100.641	21.041	2009	04/1962	09/2014
Gto.	011043	LOURDES	-100.702	21.290	1995	05/1949	05/1991
Gto.	011044	MANDUJANO	-101.049	20.740	2059	01/1964	06/2014
Gto.	011045	MEDIA LUNA	-101.639	21.333	2042	05/1947	06/2014
Gto.	011046	MINAS DE MAGUEY	-100.133	21.550	1000	01/1961	06/1988
Gto.	011047	MOROLEON	-101.191	20.126	1812	07/1922	12/2014
Gto.	011048	NEUTLA	-100.836	20.708	1933	02/1963	03/2014
Gto.	011049	NUEVO VALLE MORENO	-101.426	21.211	2247	06/1962	11/2014
Gto.	011050	OCAMPO	-101.480	21.650	2253	08/1924	12/2014
Gto.	011051	PEÑUELTAS	-100.878	21.108	1906	01/1961	12/2014
Gto.	011052	PERICOS	-101.118	20.522	1719	11/1937	12/2014
Gto.	011053	POZOS	-100.496	21.220	2206	04/1949	12/2014

Figura 4.3. Extractor de datos del Eric III.

Tabla 4.2. Obtención de datos de temperaturas máximas promedios mensuales del Distrito de Riego 004 Don Martín, Nuevo León. Año agrícola 2016-2017.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Prom	18.8	21.5	26.1	30.2	32.8	35.5	36.2	35.6	32.6	28.4	23.7	19.6
Prom	19.8	22.5	27.3	31.3	34.4	36.8	37.8	37.5	34.3	30	24.2	20.4
Prom	19.6	22.6	26.8	30.9	33.6	35.9	36.9	36.9	33.8	29.6	24.4	20.6
Prom	21.8	25.1	28.4	32.1	32.8	33.3	31.8	33.7	30.5	29.5	26.1	22.1
Prom	22.4	22.4	27.6	32	35.6	37.3	37	38.1	34.5	30.9	25.9	21.7
Gran Prom	20.48	22.82	27.24	31.3	33.84	35.76	35.94	36.36	33.14	29.68	24.86	20.88

Elaboración propia con base a (ERIC III {Software}, 2010).

Los valores referentes a los parámetros de velocidades del viento (m/s), humedades relativas (%) y radiación solar (W/m²), de igual manera promedio mensual, fueron obtenidos de las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA's). Las cuales son supervisadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). En la tabla 4.3 se observan valores de radiación solar promedio mensual del Distrito de Riego 004 Don Martín para los años agrícolas 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017. Sin embargo, de esa manera se obtuvieron también los datos referentes a los parámetros de velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar para los años agrícolas comprendidos de 2004-2017.

Tabla 4.3. Radiación solar en el Distrito de Riego 004 Don Martín, Nuevo León.

Mes/Año	2014	2015	2016	2017
Enero	7.69	10.46	10.72	10.72
febrero	11.56	10.27	11.32	7.54
marzo	12.16	12.22	12.17	12.12
Abril	12.86	12.38	12.90	12.90
Mayo	13.33	13.32	13.55	13.53
Junio	14.06	13.98	14.06	14.04
Julio	13.19	13.83	13.19	13.82
Agosto	12.85	13.20	12.85	12.84
Septiembre	12.18	12.40	12.18	12.17
Octubre	10.72	11.67	11.55	10.68
Noviembre	8.72	8.72	12.15	8.72
Diciembre	9.81	9.81	10.78	9.79

Elaboración propia con base a (Servicio Meteorológico Nacional, 2010).

IV.1.3 Obtención de los coeficientes Kc's para cultivos de la región.

Los coeficientes de cultivo (Kc's) integran la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración del cultivo de referencia dentro de un coeficiente único Kc. En la Tabla 4.4 se presentan algunos coeficientes de cultivo, definidos en el Estudio FAO de Riego y Drenaje No. 56. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (FAO, 2006).

Tabla 4.4. Coeficientes de cultivo definidos por la FAO.

Cultivo	$K_{c_{ini}}^1$	$K_{c_{mod}}$	$K_{c_{fin}}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
a. Hortalizas Pequeñas	0,7	1,05	0,95	
Brécol (Brócoli)		1,05	0,95	0,3
Col de Bruselas		1,05	0,95	0,4
Repollo		1,05	0,95	0,4
Zanahoria		1,05	0,95	0,3
Coliflor		1,05	0,95	0,4
Apio (Céleri)		1,05	1,00	0,6
Ajo		1,00	0,70	0,3
Lechuga		1,00	0,95	0,3
Cebolla – seca		1,05	0,75	0,4
– verde		1,00	1,00	0,3
– semilla		1,05	0,80	0,5
Espinaca		1,00	0,95	0,3
Rábano		0,90	0,85	0,3
b. Hortalizas– Familia de la Solanáceas	0,6	1,15	0,80	
Berenjena		1,05	0,90	0,8
Pimiento Dulce (campana)		1,05 ²	0,90	0,7
Tomate		1,15 ²	0,70–0,90	0,6
c. Hortalizas– Familia de las Cucurbitáceas	0,5	1,00	0,80	
Melón	0,5	0,85	0,60	0,3
Pepino – Cosechado Fresco	0,6	1,00 ²	0,75	0,3
– Cosechado a Máquina	0,5	1,00	0,90	0,3
Calabaza de Invierno		1,00	0,80	0,4
Calabacín (zucchini)		0,95	0,75	0,3
Melón dulce		1,05	0,75	0,4
Sandía	0,4	1,00	0,75	0,4
d. Raíces y Tubérculos	0,5	1,10	0,95	
Remolacha, mesa		1,05	0,95	0,4
Yuca o Mandioca – año 1	0,3	0,80 ³	0,30	1,0
– año 2	0,3	1,10	0,50	1,5
Chirivía	0,5	1,05	0,95	0,4
Patata o Papa		1,15	0,75 ⁴	0,6
Camote o Batata		1,15	0,65	0,4
Nabos (Rutabaga)		1,10	0,95	0,6
Remolacha Azucarera	0,35	1,20	0,70 ⁵	0,5

¹ Estos son valores generales de $K_{c_{ini}}$ considerando un manejo típico del riego y humedecimiento del suelo. Para humedecimientos frecuentes, tal como en el caso de riego por aspersión de alta frecuencia o lluvia diaria, estos valores pueden aumentar sustancialmente pudiendo acercarse a 1,0 a 1,2. El valor de $K_{c_{ini}}$ es una función del intervalo de humedecimiento y la tasa potencial de evaporación durante las etapas inicial y de desarrollo del cultivo, siendo estimado con mayor exactitud a través de las Figuras 29 y 30, o la Ecuación 7-3 del Anexo 7, o usando el coeficiente dual $K_{c_{db,ini}} + K_e$. Utilice el valor de $K_{c_{ini}}$ para el grupo cuando no aparece un valor de $K_{c_{ini}}$ para el cultivo.

² En algunas oportunidades, los Frijoles o judías, Guisantes, Leguminosas, Tomates, Pimientos y Pepinos son cultivados utilizando empalizadas que alcanzan los 1,5 a 2 metros de altura. En estos casos es necesario incrementar los valores de K_c . Para frijoles o judías verdes, pimentones y pepinos se puede asumir un valor de 1,15 y en el caso de los tomates, frijoles secos y los guisantes, de 1,20. Bajo esas condiciones también debe aumentarse el valor de h.

³ Los valores correspondientes a la etapa de mediados de temporada para la mandioca, asumen condiciones de no-estrés durante o después de la temporada lluviosa. Los valores de $K_{c_{fin}}$ toman en cuenta el letargo durante la estación seca.

⁴ El valor de $K_{c_{fin}}$ para papas o patatas de ciclo largo con rotura de los estolones es alrededor de 0,40.

⁵ El valor de $K_{c_{fin}}$ corresponde a condiciones sin riego durante el último mes de la temporada productiva. El valor de $K_{c_{fin}}$ para la remolacha azucarera es mayor, hasta 1,0, cuando ocurra riego o lluvias significativas durante el último mes.

Continuación tabla 4.4. Coeficientes de cultivo definidos por la FAO.

Cultivo	$K_{c_{ini}}^1$	$K_{c_{mod}}$	$K_{c_{fm}}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
e. Leguminosas (Leguminosae)	0,4	1,15	0,55	
Frijoles o judías, verdes	0,5	1,05 ²	0,90	0,4
Frijoles o judías, secos y frescos	0,4	1,15 ²	0,35	0,4
Garbanzo (chick pea)		1,00	0,35	0,4
Habas	0,5	1,15 ²	1,10	0,8
– Fresco				
– Seco/Semilla	0,5	1,15 ²	0,30	0,8
Garbanzo hindú	0,4	1,15	0,35	0,8
Caupís (cowpeas)		1,05	0,60-0,35 ⁶	0,4
Maní		1,15	0,60	0,4
Lentejas		1,10	0,30	0,5
Guisantes o arveja	0,5	1,15 ²	1,10	0,5
– Frescos				
– Secos/Semilla		1,15	0,30	0,5
Soya		1,15	0,50	0,5-1,0
f. Hortalizas perennes (con letargo invernal y suelo inicialmente desnudo o con mantillo)	0,5	1,00	0,80	
Alcachofa	0,5	1,00	0,95	0,7
Espárragos	0,5	0,95 ⁷	0,30	0,2-0,8
Menta	0,60	1,15	1,10	0,6-0,8
Fresas	0,40	0,85	0,75	0,2
g. Cultivos Textiles	0,35			
Algodón		1,15-1,20	0,70-0,50	1,2-1,5
Lino		1,10	0,25	1,2
Sisal ⁸		0,4-0,7	0,4-0,7	1,5
h. Cultivos Oleaginosos	0,35	1,15	0,35	
Ricino		1,15	0,55	0,3
Canola (colza)		1,0-1,15 ⁹	0,35	0,6
Cártamo		1,0-1,15 ⁹	0,25	0,8
Sésamo (ajonjolí)		1,10	0,25	1,0
Girasol		1,0-1,15 ⁹	0,35	2,0
i. Cereales	0,3	1,15	0,4	
Cebada		1,15	0,25	1
Avena		1,15	0,25	1
Trigo de Primavera		1,15	0,25-0,4 ¹⁰	1
Trigo de Invierno				
– con suelos congelados	0,4	1,15	0,25-0,4 ¹⁰	1
– con suelos no-congelados	0,7	1,15	0,25-0,4 ¹⁰	
Maíz, (grano)		1,20	0,60,0,35 ¹¹	2
Maíz, (dulce)		1,15	1,05 ¹²	1,5
Mijo		1,00	0,30	1,5
Sorgo				
– grano		1,00-1,10	0,55	1-2
– dulce		1,20	1,05	2-4
Arroz	1,05	1,20	0,90-0,60	1

⁶ EL primer valor de $K_{c_{fm}}$ es cuando se cosecha fresco. El segundo valor es cuando se cosecha seco.

⁷ El valor de K_c para los espárragos permanece como $K_{c_{ini}}$ durante la cosecha de los vástagos, debido a las condiciones de poca cobertura vegetal. El valor de $K_{c_{mod}}$ es para después del re-crecimiento de la vegetación, después de terminada la cosecha de vástagos.

⁸ El valor de K_c para sisal depende de la densidad de siembra y el manejo del agua (ósea, del estrés hídrico intencional).

⁹ Los valores menores son para cultivos de secano los cuales tienen una menor densidad de población vegetal.

¹⁰ El valor mayor es para cultivos cosechados a mano.

¹¹ El primer valor de $K_{c_{fm}}$ corresponde a los casos donde el cultivo se cosecharon gran humedad en el grano. El segundo valor de $K_{c_{fm}}$ es para cuando se cosecha después de un secado completo del grano en el campo (hasta alrededor de 18% de humedad basado en materia húmeda).

¹² Si se cosecha en fresco para consumo humano. Usar el valor de $K_{c_{fm}}$ para maíz de campo si el maíz dulce es dejado madurar y secar en el campo.

Continuación tabla 4.4. Coeficientes de cultivo definidos por la FAO.

Cultivo	$K_c \text{ ini}^1$	$K_c \text{ mod}$	$K_c \text{ fin}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)	
j. Forrajes					
Alfalfa (heno) – efecto promedio de los cortes	0,40	0,95 ¹³	0,90	0,7	
	– periodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,20 ¹⁴	1,15 ¹⁴	0,7
	– para semilla	0,40	0,50	0,50	0,7
Bermuda (heno) – efecto promedio de los cortes	0,55	1,00 ¹³	0,85	0,35	
	– cultivo para semilla (primavera)	0,35	0,90	0,65	0,4
Trébol heno, Bersím – efecto promedio de los cortes	0,40	0,90 ¹³	0,85	0,6	
	– periodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	0,6
Rye Grass (heno) – efecto promedio de los cortes	0,95	1,05	1,00	0,3	
Pasto del Sudán (anual) – efecto promedio de los cortes	0,50	0,90 ¹⁴	0,85	1,2	
	– período individual de corte	0,50 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	1,2
Pastos de Pastoreo – pastos de rotación	0,40	0,85-1,05	0,85	0,15-0,30	
	– pastoreo extensivo	0,30	0,75	0,75	0,10
Pastos (césped, turfgrass) – época fría ¹⁵	0,90	0,95	0,95	0,10	
	– época caliente ¹⁵	0,80	0,85	0,85	0,10
k. Caña de azúcar	0,40	1,25	0,75	3	
l. Frutas Tropicales y Árboles					
Banana – 1 ^{er} año	0,50	1,10	1,00	3	
	– 2 ^{do} año	1,00	1,20	1,10	4
Cacao	1,00	1,05	1,05	3	
Café – suelo sin cobertura	0,90	0,95	0,95	2-3	
	– con malezas	1,05	1,10	1,10	2-3
Palma Datilera	0,90	0,95	0,95	8	
Palmas	0,95	1,00	1,00	8	
Piña ¹⁶ – suelo sin cobertura	0,50	0,30	0,30	0,6-1,2	
	– con cobertura de gramíneas	0,50	0,50	0,50	0,6-1,2
Arbol del Caucho	0,95	1,00	1,00	10	
Té – no sombreado	0,95	1,00	1,00	1,5	
	– sombreado ¹⁷	1,10	1,15	1,15	2
m. Uvas y Moras					
Moras (arbusto)	0,30	1,05	0,50	1,5	
Uvas – Mesa o secas (pasas)	0,30	0,85	0,45	2	
	– Vino	0,30	0,70	0,45	1,5-2
Lúpulo	0,3	1,05	0,85	5	

¹³ Los valores de $K_c \text{ mod}$ para cultivos destinados a heno son un promedio general que incluyen valores promedios de K_c para antes y después de los cortes. Este se aplica para el lapso que sigue al período de desarrollo inicial hasta el inicio de la etapa final de la temporada de crecimiento.

¹⁴ Estos valores del coeficiente K_c para cultivos de heno se aplican inmediatamente después del corte; en cobertura completa; e inmediatamente antes del corte, respectivamente. La temporada de crecimiento se define como una serie de periodos individuales de corte (Figura 35).

¹⁵ Variedades de pastos de temporada fría incluyen sitios cultivados densamente con bluegrass, ryegrass y fescue. Variedades de temporada cálida incluyen pastos tipo bermuda y St. Agostine. El valor de 0,95 para pastos de época fría representa un 0,06 a 0,08 m de altura de corte, bajo condiciones normales de césped. Cuando se practica un manejo cuidadoso del agua y no se requiere de un crecimiento rápido, se puede reducir los valores de K_c para césped a 0,10.

¹⁶ La planta de piña posee una muy baja transpiración debido a que la misma cierra sus estomas durante el día y los abre durante la noche. Por lo tanto la mayor parte de la ET_c en la piña esta constituida por la evaporación que ocurre en el suelo. El valor de $K_c \text{ mod} < K_c \text{ ini}$ debido a que $K_c \text{ mod}$ ocurre en condiciones de completa cobertura del suelo, por lo que la evaporación en el suelo será menor. Los valores indicados asumen que un 50% de la superficie del suelo se encuentra cubierta por una cobertura de plástico negro y que el cultivo es regado a través de riego por aspersión. En el caso de riego por goteo por debajo de la cubierta plástica, los valores de K_c pueden ser reducidos a 0,10.

¹⁷ Incluye el requerimiento de agua de los árboles bajo sombra.

Estudio FAO. Riego y Drenaje (FAO, 2006).

Continuación tabla 4.4. Coeficientes de cultivo definidos por la FAO.

Cultivo	$K_c \text{ in}^1$	$K_c \text{ mod}$	$K_c \text{ in}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
n. Árboles Frutales				
Almendras, sin cobertura del suelo	0,40	0,90	0,65 ¹⁸	5
Manzanas, Cerezas, Peras ¹⁹				
– sin cobertura del suelo, con fuertes heladas	0,45	0,95	0,70 ¹⁸	4
– sin cobertura del suelo, sin heladas	0,60	0,95	0,75 ¹⁸	4
– cobertura activa del suelo, con fuertes heladas	0,50	1,20	0,95 ¹⁸	4
– cobertura activa del suelo, sin heladas	0,80	1,20	0,85 ¹⁸	4
Albaricoque, Melocotón o Durazno, Drupas ^{19, 20}				
– sin cobertura del suelo, con fuertes heladas	0,45	0,90	0,65 ¹⁸	3
– sin cobertura del suelo, sin heladas	0,55	0,90	0,65 ¹⁸	3
– cobertura activa del suelo, con fuertes heladas	0,50	1,15	0,90 ¹⁸	3
– cobertura activa del suelo, sin heladas	0,80	1,15	0,85 ¹⁸	3
Aguacate, sin cobertura del suelo	0,60	0,85	0,75	3
Cítricos, sin cobertura del suelo ²¹				
– 70% cubierta vegetativa	0,70	0,65	0,70	4
– 50% cubierta vegetativa	0,65	0,60	0,65	3
– 20% cubierta vegetativa	0,50	0,45	0,55	2
Cítricos, con cobertura activa del suelo o malezas ²²				
– 70% cubierta vegetativa	0,75	0,70	0,70	4
– 50% cubierta vegetativa	0,80	0,80	0,80	3
– 20% cubierta vegetativa	0,85	0,85	0,85	2
Coníferas ²³	1,00	1,00	1,00	10
Kiwi	0,40	1,05	1,05	3
Olivos (40 a 60% de cobertura del suelo por el dosel) ²⁴	0,65	0,70	0,70	3-5
Pistachos, sin cobertura del suelo	0,40	1,10	0,45	3-5
Huerto de Nogal ¹⁹	0,50	1,10	0,65 ¹⁸	4-5

¹⁸Estos valores de $K_c \text{ in}$ son representativos del K_c antes de la caída de las hojas. Después de la caída de las hojas, $K_c \text{ in} \approx 0,20$ para suelo descubierto y seco, o para cobertura muerta del suelo y $K_c \text{ in} \approx 0,50$ a $0,80$ para cobertura activa y en desarrollo (consultar el Capítulo 11).

¹⁹Referirse a la Ec. 94, 97 o 98 y notas de pie de página 21 y 22, para estimar K_c para sitios con cultivos inmaduros.

²⁰La categoría de las drupas es aplicable a los melocotones o duraznos, albaricoques, peras, ciruelas y pacanas.

²¹Estos valores de K_c pueden ser calculados a partir de la Ec. 98 para $K_c \text{ min} = 0,15$ y $K_c \text{ max} = 0,75, 0,70$ y $0,75$ para las etapas inicial, mediados de temporada y final de la temporada, y $f_c \text{ eff} = f_c$ donde f_c = fracción del suelo cubierto por el dosel del árbol (se asume que el sol se encuentra directamente por encima). Los valores tabulados corresponden a los indicados por Doorenbos y Pruitt (1977) y los obtenidos en mediciones recientes. El valor correspondiente a la etapa de mediados de temporada es menor que los correspondientes a las etapas inicial y final debido a los efectos del cierre estomático durante los períodos de máxima ET. Para climas húmedos y semi- húmedos, donde existe un menor control estomático por parte de los cítricos, se pueden incrementar los valores de $K_c \text{ in}$, $K_c \text{ mod}$, y $K_c \text{ in}$ a $0,1 - 0,2$, según Rogers *et al.* (1983).

²²Estos valores de K_c pueden ser calculados como $K_c = f_c K_c \text{ in} + (1 - f_c) K_c \text{ cobertura}$ donde $K_c \text{ in}$ es el valor de K_c de los cítricos que no poseen cobertura activa del suelo (calculado según la nota a pie de página 21); $K_c \text{ cobertura}$ es el valor de K_c para la cobertura activa del suelo (0,95) y f_c es definido en la nota a pie de página 21. Los valores tabulados corresponden con los indicados por Doorenbos y Pruitt (1977) y con mediciones más recientes. Alternativamente, el valor de K_c para los cítricos con cobertura activa del suelo puede ser estimado directamente a través de la Ec. 98 considerando $K_c \text{ min} = K_c \text{ cobertura}$. Para climas húmedos y semi húmedos donde existe un menor control estomático por parte de los cítricos, se pueden incrementar los valores de $K_c \text{ in}$, $K_c \text{ mod}$, y $K_c \text{ in}$ en un $0,1 - 0,2$, según Rogers *et al.* (1983).

Para cobertura inactiva o moderadamente activa del suelo (cobertura activa del suelo implica cobertura verde y en crecimiento, con un valor de IAF > 2 a 3 aproximadamente), el valor de K_c deberá ser ponderado entre el valor de K_c correspondiente a la ausencia de cobertura del suelo y el valor de K_c para la cubierta activa del suelo, basando la ponderación en el grado de «verdosidad» y el área foliar aproximada de la cubierta del suelo.

²³Las coníferas presentan un control estomático significativo debido a su reducida resistencia aerodinámica. Los valores de K_c pueden ser fácilmente inferiores a los presentados, los cuales representan condiciones óptimas de humedecimiento en bosques extensos.

Estudio FAO. Riego y Drenaje (FAO, 2006).

Continuación tabla 4.4. Coeficientes de cultivo definidos por la FAO.

Cultivo	$K_{c\text{ini}}^1$	$K_{c\text{med}}$	$K_{c\text{fin}}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
o. Humedales – clima templado				
Anea (Typha), Junco (Scirpus), muerte por heladas	0,30	1,20	0,30	2
Anea, Junco, sin heladas	0,60	1,20	0,60	2
Vegetación pequeña, sin heladas	1,05	1,10	1,10	0,3
Carrizo (Phragmites), con agua sobre el suelo	1,00	1,20	1,00	1-3
Carrizo, suelo húmedo	0,90	1,20	0,70	1-3
p. Especial				
Agua libre, < 2 m de profundidad o en climas sub-húmedos o trópicos		1,05	1,05	
Agua libre, > 5 m de profundidad, sin turbidez, clima templado		0,65 ²⁵	1,25 ²⁵	

²⁴Estos coeficientes son representativos de una cobertura del suelo entre 40 a 60%. Referirse a la Ec. 98 y notas a pie de página 21 y 22 para estimar el valor de K_c en sitios con vegetación inmadura. En España, Pastor y Orgaz (1994) encontraron los siguientes valores de K_c para huertos de olivos con un 60% de cobertura del suelo: 0,50, 0,50, 0,65, 0,60, 0,55, 0,50, 0,45, 0,45, 0,55, 0,60, 0,65, 0,50 para los meses Enero a Diciembre. Se pueden obtener estos coeficientes utilizando $K_{c\text{ini}} = 0,65$, $K_{c\text{med}} = 0,45$, y $K_{c\text{fin}} = 0,65$, considerando una duración de las etapas inicial, desarrollo, mediados de temporada y final de = 30, 90, 60 y 90 días respectivamente, y utilizando un valor de K_c durante el Invierno («fuera de temporada») desde Diciembre a Febrero = 0,50.

²⁵Estos valores de K_c corresponden a aguas profundas en latitudes templadas donde se presentan cambios importantes de temperatura en el cuerpo de agua a través del año y donde tanto la evaporación inicial como la máxima son reducidas debido a la absorción de la energía radiante dentro del cuerpo de agua profunda. Durante los períodos de otoño e invierno ($K_{c\text{fin}}$), el calor es liberado por el cuerpo de agua, lo que genera una evaporación por encima de la evapotranspiración de referencia. Por lo tanto el valor de $K_{c\text{med}}$ corresponde al período donde el cuerpo de agua esta ganando energía térmica y el valor de $K_{c\text{fin}}$ se produce durante la liberación de energía térmica. Se deberá utilizar estos valores de K_c con suma precaución.

Fuentes principales: $K_{c\text{ini}}$: Doorenbos y Kassam (1979); $K_{c\text{med}}$ y $K_{c\text{fin}}$: Doorenbos y Pruitt (1977); Pruitt (1986); Wright (1981, 1982), Snyder et al., (1989)

Estudio FAO. Riego y Drenaje (FAO, 2006).

IV.1.4 Obtención del Requerimiento de Agua para el Cultivo (RAC).

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (FAO, 2006).

Hay que puntualizar que, aunque los valores de evapotranspiración del cultivo estándar (ET_c) y los requerimientos de agua del cultivo en apariencia son idénticos, los requerimientos de agua del cultivo (RAC) se refieren a la cantidad de agua que debe suministrarse, mientras que la evapotranspiración se refiere a la cantidad de agua que se pierde a través de la evaporación y de la transpiración (Allen, Pereira, Raes, Dirk y Smith, 2006). Es importante mencionar que el software CROPWAT 8.0 calcula la evapotranspiración de referencia aplicando el enfoque FAO Penman-Monteith.

El método de la FAO Penman-Monteith utiliza datos climáticos estándar los cuales pueden ser fácilmente medidos o bien derivarse de datos comúnmente medidos.

Los procedimientos que se realizaron en esta investigación han sido estandarizados en función de los datos meteorológicos disponibles y se empleó además una escala de tiempo adecuada.

Es importante mencionar que todos los procesos que a continuación se presentan, se realizaron para cada cultivo de los 13 Distritos de Riego y a su vez para cada año agrícola de 2004 hasta el año 2017.

Con los datos climáticos antes indicados, se procedió a ingresarlos en el programa Cropwat. Como primer paso, la ventana Clima/ETo se introdujo la información correspondiente a temperaturas máximas y mínimas promedio e insolación; las variables de humedad y viento. Como se aprecia en la figura 4.4 para el DR 004 Don Martín año agrícola 2016-2017 a manera de ejemplo.

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	6.2	20.5	65	3.1	10.7	17.4	3.00
Febrero	8.0	22.8	59	4.0	7.5	16.0	3.93
Marzo	11.7	27.2	63	3.3	12.1	24.8	5.03
Abril	16.0	31.3	64	3.5	12.9	28.3	6.37
Mayo	19.6	33.8	71	3.7	13.5	30.1	6.95
Junio	21.7	35.8	65	3.2	14.0	31.0	7.69
Julio	22.2	35.9	58	2.9	13.8	30.5	7.82
Agosto	22.6	36.4	49	3.0	12.8	28.3	7.99
Septiembre	20.5	33.1	67	3.2	12.2	25.6	6.24
Octubre	16.3	29.7	64	3.0	10.7	20.7	4.93
Noviembre	10.8	24.9	62	3.5	8.7	15.7	3.88
Diciembre	6.5	20.9	70	3.2	9.8	15.6	2.79
Promedio	15.2	29.4	63	3.3	11.6	23.7	5.55

Figura 4.4. Menú Clima/ETo con información del cultivo Avena, para el Distrito de Riego 004 Don Martín, Nuevo León (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

De igual forma, en la ventana Precipitación se introdujeron los valores de precipitación promedio mensual. En la Figura 4.5 se observa la precipitación en el Estado de Nuevo León en el año agrícola 2016-2017.

Estación Método Prec. Ef **Método USDA S.C.**

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	14.1	13.8
Febrero	17.7	17.2
Marzo	19.9	19.3
Abril	26.8	25.7
Mayo	52.5	48.1
Junio	51.1	46.9
Julio	49.3	45.4
Agosto	53.4	48.8
Septiembre	94.7	80.4
Octubre	51.2	47.0
Noviembre	17.0	16.5
Diciembre	19.6	19.0
Total	467.3	428.0

Figura 4.5. Menú Precipitación con información de precipitaciones, para el Distrito de Riego 004 Don Martín, Nuevo León (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Actividad seguida, se eligió el cultivo de estudio en la ventana Cultivo, el programa tiene coeficientes de crecimiento para ciertos cultivos determinados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, caso contrario nos basamos en la tabla 4.4 y en aportaciones por parte de investigadores referentes a coeficientes de cultivo. En la figura 4.6 se observan los coeficientes de cultivo para el maíz.

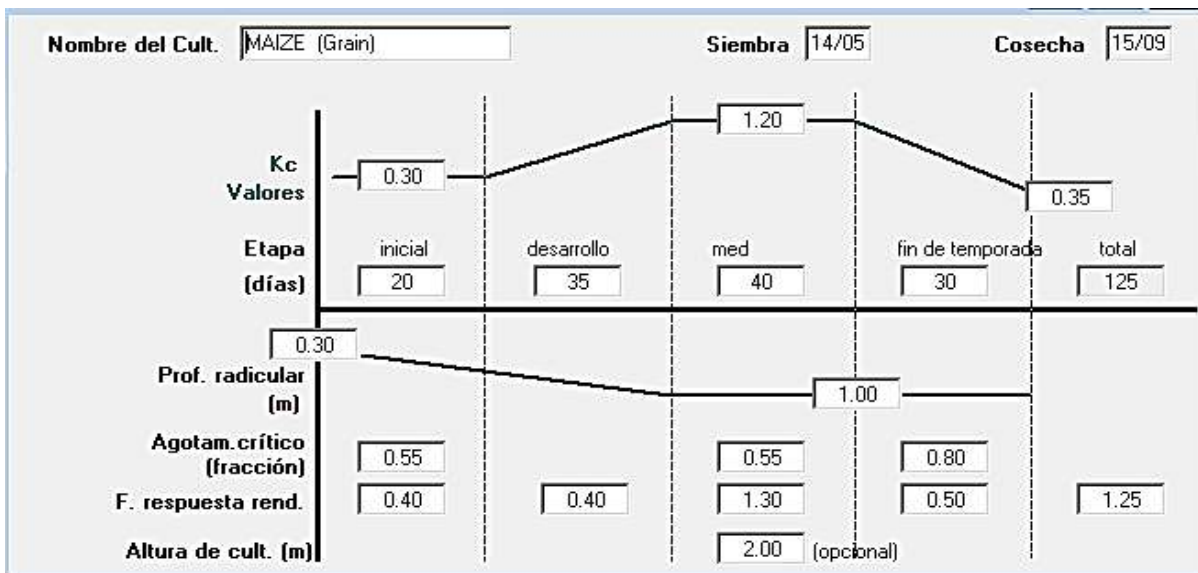


Figura 4.6. Menú Cultivo con información del factor Kc del maíz de grano (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Así como en la ventana anterior, se seleccionaron las características del tipo de suelo según la región de estudio, pues el software cuenta con información precargada de diferentes tipos de suelo, esto en la ventana Suelo. En la figura 4.7 se aprecia que para la región de Nuevo León se eligió un tipo de suelo Medio.

Nombre del suelo		
Medium (loam)		
Datos generales de suelo		
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	290.0	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	40	mm/día
Profundidad radicular máxima	900	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	290.0	mm/metro

Figura 4.7. Menú Suelo con información del tipo de suelo (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Una vez seleccionado el cultivo, tipo de suelo e ingresada la información climatológica, automáticamente el software calcula el volumen de agua requerido para el cultivo (RAC), esto en la ventana RAC, donde se aprecian los resultados mensuales para las variables de evapotranspiración, lluvia efectiva e irrigación requerida, empleando esta última para el cálculo de la HH azul más verde para cada cultivo del Distrito de Riego correspondiente, es importante mencionar que antes de calcular la HH se tuvo que pasar este valor a m^3/ha , para facilitar los cálculos. Figura 4.8.

Estación ETo <input type="text" value="Santa Cecilia"/>			Cultivo <input type="text" value="Small Grains"/>				
Est. de lluvia <input type="text" value="1"/>			Fecha de siembra <input type="text" value="18/02"/>				
Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Feb	2	Inic	0.30	1.18	3.5	1.7	3.5
Feb	3	Inic	0.30	1.29	10.3	6.0	4.3
Mar	1	Inic	0.30	1.40	14.0	6.1	7.9
Mar	2	Des	0.35	1.77	17.7	6.3	11.4
Mar	3	Des	0.59	3.24	35.6	7.0	28.6
Abr	1	Des	0.85	5.01	50.1	7.3	42.8
Abr	2	Med	1.08	6.89	68.9	7.8	61.1
Abr	3	Med	1.15	7.54	75.4	10.5	64.9
May	1	Med	1.15	7.76	77.6	14.3	63.4
May	2	Med	1.15	7.99	79.9	17.1	62.7
May	3	Med	1.15	8.27	91.0	16.6	74.3
Jun	1	Med	1.15	8.55	85.5	15.8	69.8
Jun	2	Med	1.15	8.84	88.4	15.6	72.7
Jun	3	Fin	1.07	8.30	83.0	15.5	67.5
Jul	1	Fin	0.86	6.71	67.1	15.2	51.9
Jul	2	Fin	0.65	5.09	50.9	14.9	35.9
Jul	3	Fin	0.43	3.37	37.0	15.4	21.6
Ago	1	Fin	0.30	2.42	2.4	1.5	2.4
					938.3	194.7	746.8

Figura 4.8. Menú RAC con información para el cultivo avena, en el DR004 Don Martín año 2016-2017, Nuevo León (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

IV.1.5 Obtención de la Huella Hídrica Azul + Verde (2004-2017).

A continuación, se determinó la HH azul más verde de cada uno de los cultivos del Distrito de Riego, así como para cada año agrícola de 2004 a 2017, mediante la siguiente expresión, ecuación 22:

$$HH_{\text{azul + verde}} = \left(\frac{RAC}{Y}\right) \times Prod \dots \dots \dots \text{Ec (22)}.$$

donde:

HH_{azul + verde} = HH azul más verde de uso agrícola para un cultivo en m³/año

RAC = Volumen de agua azul requerido para el cultivo en m³/ha

Y = Rendimiento del cultivo en t/ha.

Prod = Producción del cultivo en el ciclo de estudio en toneladas.

Aclarando que los datos de rendimiento y producción del cultivo son datos que se obtuvieron de las estadísticas agrícolas de los distritos de riego correspondientes a cada cultivo en cada uno de los años agrícolas considerados. Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Valores de rendimiento y producción de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 090 Bajo Río Conchos, Chihuahua. Año agrícola 2016-2017.

Cultivo	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción (Miles de Ton)	PMR (\$/Ton)	Valor de la Producción (Miles de \$)
0011 - Alfalfa Verde	1,428.5	1,428.5	84.00	119.99	553.0	66,356.68
0012 - Algodón	649.3	649.3	4.80	3.12	11,562.0	36,034.59
0022 - Avena Forrajera Verde	366.6	366.6	31.00	11.36	702.0	7,977.95
0134 - Maíz Grano	14.0	14.0	1.35	0.02	3,200.0	60.48
0147 - Melón	1.0	1.0	27.50	0.03	3,750.0	103.13
0156 - Nogal (Nuez)	729.9	248.6	2.80	0.70	108,000.0	75,176.64
0168 - Otras Hortalizas	59.3	59.3	8.50	0.50	3,500.0	1,764.18
0206 - Rye Grass (Zacate) Verde	239.3	239.3	75.00	17.95	890.0	15,973.28
0211 - Sorgo Forrajero Verde	513.2	513.2	71.22	36.55	351.0	12,829.30
0228 - Trigo Grano	175.5	175.5	4.30	0.75	3,600.0	2,716.59

Elaboración propia en base a las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, 2016).

A manera de ejemplo a continuación se presenta el cálculo para la obtención de la Huella Hídrica azul más verde de la alfalfa en el Distrito de Riego 090 Bajo Río Conchos en el ciclo agrícola 2016-2017.

Del Cropwat se obtuvo el valor de 9 327 m³/ha, correspondiente al volumen de agua requerido (RAC) de la alfalfa en el ciclo 2016-2017.

Con el RAC y el rendimiento de cultivo para la alfalfa en el Distrito de Riego 090 Bajo Río Conchos, se procedió a aplicar la fórmula de determinación de la HH:

$$HH_{\text{azul + verde}} = \left(\frac{RAC}{Y}\right) \times \text{Prod}$$

$$HH_{\text{azul + verde}} = \left(\frac{9327 \frac{m^3}{ha}}{84 \frac{ton}{ha}}\right) * 119990 \text{ ton}$$

$$HH_{\text{azul + verde}} = 13'323,175.36 \text{ m}^3$$

Por tanto, para la producción de alfalfa en el DR090, se tuvo una HH azul más verde de 13.32 Mm³, en una superficie sembrada de 1 428.5 ha, en el año agrícola 2016-2017.

Entendiéndose que se aplicó el mismo procedimiento para cada uno de los cultivos de los distintos Distritos de Riego de la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo y para cada uno de los años agrícolas con los que se contara con datos. A continuación, se presentan los valores de Huella Hídrica azul más verde (litros/kilogramo, Mm^3), por cultivo, en cada uno de los Distritos de Riego analizados para el año agrícola 2016-2017. De igual manera se obtuvieron las láminas de Huella Hídrica azul más verde en centímetros. Se anotaron tanto el Volumen Distribuido como la lámina bruta, ambos datos obtenidos de las mismas Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego (en su apartado de concentrados distritales), esto para realizar posteriormente un análisis y comparativa con los resultados obtenidos en este capítulo Tablas 4.6 a la 4.18.

Tabla 4.6. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 004 Don Martín, Nuevo León. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de	Rendimiento	Producción	Huella	Huella	Áreas (Ha)	láminas (cm)
	agua requerido	del cultivo	del cultivo	Hídrica	Hídrica		
	(RAC) (m^3/ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm^3)		
Avena	7,468.00	24.11	510.00	309.75	0.16	21.00	75.22
Búffel (Zacate)	12,710.00	37.05	40,990.00	343.05	14.06	1,106.30	127.10
Maíz Grano	5,725.00	4.27	2,210.00	1,340.75	2.96	517.50	57.26
Rye Grass (Zacate)	12,710.00	29.10	580.00	436.77	0.25	20.00	126.66
Sorgo Escobero	5,028.00	1.10	60.00	4,570.91	0.27	51.00	53.78
Sorgo Forrajero	5,028.00	34.50	13,000.00	145.74	1.89	376.70	50.29
Sorgo Grano	5,028.00	4.22	3,530.00	1,191.47	4.21	836.20	50.30
Soya	3,882.00	3.07	2,100.00	1,264.50	2.66	684.50	38.79
Trigo Grano	5,284.00	4.51	5,410.00	1,171.62	6.34	1,198.00	52.91
Volumen Total Calculado (Mm^3)					32.80		
Volumen Distribuido EADDR (Mm^3)					97.96		
Lámina total promedio (cm)					68.18		
Lámina Bruta EADDR (cm)					203.61		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.7. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 005 Delicias, Chihuahua. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de agua requerido	Rendimiento del cultivo	Producción del cultivo	Huella Hídrica	Huella Hídrica	Areas (Ha)	laminas (cm)
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Alfalfa	9,857.00	58.70	1,682,210.00	167.92	282.48	28,657.70	98.57
Algodón	7,713.00	3.50	2,790.00	2,203.71	6.15	796.60	77.18
Cacahuete	5,711.00	2.50	11,610.00	2,284.40	26.52	4,642.20	57.13
Cebolla	5,167.00	70.00	124,290.00	73.81	9.17	1,775.50	51.67
Chile	5,756.00	40.00	214,820.00	143.90	30.91	5,370.40	57.56
Maíz	5,470.00	48.00	253,960.00	113.96	28.94	5,290.70	54.70
Nuez	6,207.00	1.70	16,680.00	3,651.18	60.90	9,809.80	62.08
Sandía	5,314.00	50.00	193,700.00	106.28	20.59	3,874.00	53.14
Volumen Total Calculado (Mm³)					465.67		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					884.86		
Lámina total promedio (cm)					77.33		
Lámina Bruta EADDR (cm)					146.94		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.8. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 006 Palestina, Coahuila. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de agua requerido	Rendimiento del cultivo	Producción del cultivo	Huella Hídrica	Huella Hídrica	Areas (Ha)	laminas (cm)
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Alfalfa	14,471.00	35.12	880.00	412.04	0.36	25.00	145.04
Avena	6,762.00	2.20	220.00	3,073.64	0.68	101.00	66.95
Avena Forrajera Verde	6,762.00	21.63	9,750.00	312.62	3.05	453.80	67.17
Bermuda (Zacate)	16,840.00	33.71	2,680.00	499.56	1.34	79.50	168.40
Buffel (Zacate)	16,840.00	24.50	270.00	687.35	0.19	11.00	168.71
Frijol	4,647.00	0.76	20.00	6,114.47	0.12	27.50	44.47
Klein Grass (Zacate)	16,840.00	31.20	5,350.00	539.74	2.89	171.50	168.37
Maíz Grano	5,358.00	2.97	830.00	1,804.04	1.50	286.00	52.36
Nuez	6,762.00	0.80	20.00	8,452.50	0.17	22.50	75.13
Otros Forrajes Verdes	16,840.00	18.00	60.00	935.56	0.06	3.50	160.38
Rye Grass (Zacate)	16,840.00	24.22	1,150.00	695.29	0.80	47.50	168.33
Sandía	5,026.00	8.81	110.00	570.49	0.06	16.00	39.22
Sorgo Escobero	4,634.00	3.00	10.00	1,544.67	0.02	3.00	51.49
Sorgo Forrajero	4,634.00	26.18	39,570.00	177.01	7.00	1,537.40	45.56
Trigo Grano	4,904.00	3.01	490.00	1,629.24	0.80	162.00	49.28
Triticale Forrajero Verde	4,904.00	16.09	180.00	304.79	0.05	11.00	49.87
Volumen Total Calculado (Mm³)					19.08		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					28.84		
Lámina total promedio (cm)					64.49		
Lámina Bruta EADDR (cm)					97.49		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.9. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 009 Valle de Juárez, Chihuahua. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de agua requerido	Rendimiento del cultivo	Producción del cultivo	Huella Hídrica	Huella Hídrica	Areas (Ha)	laminas (cm)
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Alfalfa	11,086.00	71.00	151,870.00	156.14	23.71	2,139.00	110.86
Algodón	12,595.00	2.96	14,020.00	4,255.07	59.66	4,735.00	125.99
Avena	9,534.00	28.50	4,220.00	334.53	1.41	148.00	95.39
Nuez	9,534.00	1.65	380.00	5,778.18	2.20	232.00	94.64
Rye Grass (Zacate)	14,604.00	36.00	8,780.00	405.67	3.56	244.00	145.97
Sorgo Forrajero	6,633.00	33.53	29,980.00	197.82	5.93	894.00	66.34
Sudan (Zacate)	14,604.00	28.00	5,800.00	521.57	3.03	207.00	146.14
Trigo Grano	7,010.00	5.65	9,400.00	1,240.71	11.66	1,664.00	70.09
Pastos	16,006.00	29.00	260.00	551.93	0.14	9.00	159.45
Volumen Total Calculado (Mm³)					111.30		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					133.53		
Lámina total promedio (cm)					108.35		
Lámina Bruta EADDR (cm)					129.99		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.10. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 025 Bajo Río Bravo, Tamaulipas. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de agua requerido	Rendimiento del cultivo	Producción del cultivo	Huella Hídrica	Huella Hídrica	Areas (Ha)	laminas (cm)
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Algodón	6,578.00	2.76	4,810.00	2,383.33	11.46	1,743.20	65.76
Búffel (Zacate)	8,201.00	4.76	5,300.00	1,722.90	9.13	1,112.90	82.05
Chile	3,538.00	0.45	0.00	7,862.22	0.00	1.50	0.00
Canola/Mostaza	2,961.00	0.95	190.00	3,116.84	0.59	204.00	29.03
Maíz Grano	3,349.00	7.20	528,020.00	465.14	245.60	73,289.00	33.51
Okra	2,961.00	9.00	25,750.00	329.00	8.47	2,860.00	29.62
Sábila (Aloe)	2,961.00	6.00	100.00	493.50	0.05	17.00	29.03
Sorgo Grano	2,735.00	4.49	523,550.00	609.13	318.91	116,624.40	27.35
Soya	2,436.00	2.42	1,090.00	1,006.61	1.10	450.20	24.37
Zanahoria	2,807.00	37.50	3,440.00	74.85	0.26	91.80	28.05
Volumen Total Calculado (Mm³)					595.58		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					511.14		
Lámina total promedio (cm)					30.33		
Lámina Bruta EADDR (cm)					26.03		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.11. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 026 Bajo Río San Juan, Tamaulipas. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de	Rendimiento	Producción	Huella	Huella	Areas (Ha)	laminas (cm)
	agua requerido	del cultivo	del cultivo	Hidrica	Hidrica		
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Alfalfa	5,736.00	17.25	240.00	332.52	0.08	14.00	57.00
Algodón	6,657.00	2.68	3,830.00	2,483.96	9.51	1,426.50	66.69
Berenjena	2,849.00	80.00	240.00	35.61	0.01	3.00	28.49
Bermuda (Zacate)	8,442.00	6.50	250.00	1,298.77	0.32	39.10	83.04
Búffel (Zacate)	8,442.00	5.50	3,220.00	1,534.91	4.94	585.60	84.40
Chile	3,574.00	20.00	60.00	178.70	0.01	3.00	35.74
Frijol	3,004.00	1.00	0.00	3,004.00	0.00	3.00	0.00
Maíz Grano	3,403.00	7.37	412,150.00	461.74	190.30	55,895.70	34.05
Maíz Palomero	3,403.00	3.95	230.00	861.52	0.20	59.00	33.58
Melón	3,231.00	20.00	100.00	161.55	0.02	5.00	32.31
Nopal Verdura	2,849.00	3.00	0.00	949.67	0.00	1.00	0.00
Pepino	2,849.00	50.00	300.00	56.98	0.02	6.00	28.49
Sandía	3,231.00	20.00	180.00	161.55	0.03	9.00	32.31
Sorgo Forrajero	2,787.00	20.00	300.00	139.35	0.04	15.00	27.87
Sorgo Grano	2,787.00	4.09	55,940.00	681.42	38.12	13,680.80	27.86
Soya	2,464.00	1.96	140.00	1,257.14	0.18	149.60	11.76
Tomate	4,808.00	36.00	90.00	133.56	0.01	2.40	50.08
Volumen Total Calculado (Mm³)					243.79		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					323.98		
Lámina total promedio (cm)					33.91		
Lámina Bruta EADDR (cm)					45.06		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.12. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 031 Las Lajas, Nuevo León. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de	Rendimiento	Producción	Huella	Huella	Areas (Ha)	laminas (cm)
	agua requerido	del cultivo	del cultivo	Hidrica	Hidrica		
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Búffel (Zacate)	10,617.00	3.90	1,740.00	2,722.31	4.74	446.30	106.14
Maíz Grano	3,921.00	4.00	1,550.00	980.25	1.52	388.70	39.09
Sorgo Forrajero	3,309.00	4.43	470.00	746.95	0.35	105.20	33.37
Sorgo Grano	3,309.00	3.84	2,280.00	861.72	1.96	594.00	33.08
Soya	2,778.00	2.90	220.00	957.93	0.21	77.30	27.26
Volumen Total Calculado (Mm³)					8.78		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					7.48		
Lámina total promedio (cm)					54.50		
Lámina Bruta EADDR (cm)					46.40		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.13. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 042 Buenaventura, Chihuahua. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de	Rendimiento	Producción	Huella	Huella	Areas (Ha)	laminas (cm)
	agua requerido	del cultivo	del cultivo	Hídrica	Hídrica		
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Alfalfa	9,789.00	70.44	37,240.00	138.97	5.18	528.70	97.89
Algodón	11,259.00	4.50	70.00	2,502.00	0.18	15.00	116.76
Avena	8,837.00	4.00	30.00	2,209.25	0.07	8.00	82.85
Chile	7,431.00	40.65	47,800.00	182.80	8.74	1,338.30	65.29
Frijol	6,015.00	2.00	20.00	3,007.50	0.06	8.80	68.35
Maíz Grano	7,254.00	8.00	5,020.00	906.75	4.55	628.10	72.47
Manzano	11,207.00	6.00	70.00	1,867.83	0.13	11.90	109.87
Nuez	8,837.00	2.00	1,390.00	4,418.50	6.14	694.70	88.41
Sorgo Grano	6,572.00	3.95	4,740.00	1,663.80	7.89	1,297.60	60.78
Trigo Grano	6,914.00	5.00	340.00	1,382.80	0.47	67.00	70.17
Pastos	14,417.00	32.00	1,120.00	450.53	0.50	35.00	144.17
Volumen Total Calculado (Mm³)					33.90		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					82.44		
Lámina total promedio (cm)					73.17		
Lámina Bruta EADDR (cm)					177.95		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.14. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 050 Acuña Falcón, Tamaulipas. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de	Rendimiento	Producción	Huella	Huella	Areas (Ha)	laminas (cm)
	agua requerido	del cultivo	del cultivo	Hídrica	Hídrica		
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Avena	7,656.00	25.00	1,600.00	306.24	0.49	64.00	76.56
Búffel (Zacate)	11,582.00	38.72	55,380.00	299.12	16.57	1,430.00	115.84
Maíz Grano	5,471.00	4.26	260.00	1,284.27	0.33	60.00	55.65
Nuez	7,656.00	1.65	470.00	4,640.00	2.18	287.00	75.99
Sandía	5,045.00	46.00	1,380.00	109.67	0.15	30.00	50.45
Sorgo Forrajero	4,790.00	34.48	1,862.00	138.92	0.26	540.00	4.79
Volumen Total Calculado (Mm³)					19.98		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					8.09		
Lámina total promedio (cm)					82.87		
Lámina Bruta EADDR (cm)					33.57		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.15. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 089 El Carmen, Chihuahua. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de	Rendimiento	Producción	Huella	Huella	Areas (Ha)	laminas (cm)
	agua requerido	del cultivo	del cultivo	Hídrica	Hídrica		
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Alfalfa	10,405.00	75.00	85,130.00	138.73	11.81	1,135.00	104.06
Algodón	11,848.00	4.50	1,490.00	2,632.89	3.92	332.00	118.16
Cacahuete	7,945.00	3.00	300.00	2,648.33	0.79	100.00	79.45
Chile	7,599.00	30.00	145,800.00	253.30	36.93	4,860.00	75.99
Maiz	7,446.00	30.00	1,800.00	248.20	0.45	60.00	74.46
Nuez	9,244.00	2.00	6,140.00	4,622.00	28.38	3,070.00	92.44
Sorgo Grano	6,723.00	2.00	1,010.00	3,361.50	3.40	503.00	67.50
Trigo Grano	7,129.00	5.50	990.00	1,296.18	1.28	180.00	71.29
Volumen Total Calculado (Mm³)					86.96		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					144.55		
Lámina total promedio (cm)					84.92		
Lámina Bruta EADDR (cm)					141.16		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.16. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 090 Bajo Río Conchos, Chihuahua. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de	Rendimiento	Producción	Huella	Huella	Areas (Ha)	laminas (cm)
	agua requerido	del cultivo	del cultivo	Hídrica	Hídrica		
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Alfalfa	9,327.00	84.00	119,990.00	111.04	13.32	1,428.50	93.27
Algodón	10,690.00	4.80	3,120.00	2,227.08	6.95	649.30	107.02
Avena	8,167.00	31.00	11,360.00	263.45	2.99	366.60	81.64
Maíz Grano	6,371.00	1.35	20.00	4,719.26	0.09	14.00	67.42
Melón	5,929.00	27.50	30.00	215.60	0.01	1.00	64.68
Nuez	6,371.00	2.80	700.00	2,275.36	1.59	729.90	21.82
Hortalizas	4,586.00	8.50	500.00	539.53	0.27	59.30	45.49
Rye Grass (Zacate)	12,113.00	75.00	17,950.00	161.51	2.90	239.30	121.15
Sorgo Forrajero	5,693.00	71.22	36,550.00	79.94	2.92	513.20	56.93
Trigo Grano	6,098.00	4.30	750.00	1,418.14	1.06	175.50	60.60
Volumen Total Calculado (Mm³)					32.11		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					64.45		
Lámina total promedio (cm)					76.89		
Lámina Bruta EADDR (cm)					154.31		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.17. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 103 Río Florido, Chihuahua. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de agua requerido	Rendimiento del cultivo	Producción del cultivo	Huella Hidrica	Huella Hidrica	Areas (Ha)	laminas (cm)
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Alfalfa	7,613.00	40.00	103,120.00	190.33	19.63	2,578.00	76.13
Avena	6,999.00	38.00	10,790.00	184.18	1.99	284.00	69.98
Chile	6,220.00	24.69	3,160.00	251.92	0.80	128.00	62.19
Frijol	5,465.00	0.80	10.00	6,831.25	0.07	10.00	68.31
Maíz Forrajero	6,153.00	45.00	24,260.00	136.73	3.32	539.00	61.54
Maíz Grano	6,153.00	6.00	560.00	1,025.50	0.57	93.00	61.75
Nuez	6,999.00	1.01	600.00	6,929.70	4.16	594.00	70.00
Sorgo Forrajero	5,434.00	38.00	16,870.00	143.00	2.41	444.00	54.33
Volumen Total Calculado (Mm³)					32.94		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					69.88		
Lámina total promedio (cm)					70.53		
Lámina Bruta EADDR (cm)					149.64		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.18. Valores de Huella Hídrica azul + verde de los diferentes cultivos del Distrito de Riego 113 Alto Río Conchos, Chihuahua. Año 2016-2017.

Cultivos	Volumen de agua requerido	Rendimiento del cultivo	Producción del cultivo	Huella Hidrica	Huella Hidrica	Areas (Ha)	laminas (cm)
	(RAC) (m ³ /ha)	(Ton/ha)	(Ton)	Azul + Verde (lt/kg)	Azul + Verde (Mm ³)		
Alfalfa	10,192.00	38.00	25,760.00	268.21	6.91	678.00	101.90
Cebolla	5,025.00	60.00	2,700.00	83.75	0.23	45.00	50.25
Chile	5,474.00	35.00	2,980.00	156.40	0.47	85.00	54.83
Maíz Forrajero	5,252.00	35.00	2,630.00	150.06	0.39	75.00	52.62
Nuez	6,038.00	1.50	5,060.00	4,025.33	20.37	3,370.00	60.44
Volumen Total Calculado (Mm³)					28.36		
Volumen Distribuido EADDR (Mm³)					77.39		
Lámina total promedio (cm)					66.69		
Lámina Bruta EADDR (cm)					181.97		

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Por tanto, para la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo se utilizó un volumen total (Huella Hídrica azul más verde) de 1,711.26 Mm³ destinado para actividades agrícolas en el ciclo 2016-2017.

En los anexos 27 al 38 se presentan los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde (litros/kilogramo, Mm³) de la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo para el periodo agrícola 2004-2005. Obteniéndose un volumen total (Huella Hídrica azul más verde) de 1,151.65 Mm³ destinado para actividades agrícolas.

En los anexos 39 al 50 se presentan los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde (litros/kilogramo, Mm³) de la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo para el periodo agrícola 2006-2007. Obteniéndose un volumen total (Huella Hídrica azul más verde) de 1,629.10 Mm³ destinado para actividades agrícolas.

En los anexos 51 al 62 se presentan los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde (litros/kilogramo, Mm³) de la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo para el periodo agrícola 2007-2008. Obteniéndose un volumen total (Huella Hídrica azul más verde) de 1,607.43 Mm³ destinado para actividades agrícolas.

En los anexos 63 al 74 se presentan los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde (litros/kilogramo, Mm³) de la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo para el periodo agrícola 2008-2009. Obteniéndose un volumen total (Huella Hídrica azul más verde) de 1,663.73 Mm³ destinado para actividades agrícolas.

En los anexos 75 al 86 se presentan los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde (litros/kilogramo, Mm³) de la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo para el periodo agrícola 2009-2010. Obteniéndose un volumen total (Huella Hídrica azul más verde) de 1,613.64 Mm³ destinado para actividades agrícolas.

En los anexos 87 al 98 se presentan los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde (litros/kilogramo, Mm³) de la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo para el periodo agrícola 2011-2012. Obteniéndose un volumen total (Huella Hídrica azul más verde) de 1,620.87 Mm³ destinado para actividades agrícolas.

En los anexos 99 al 110 se presentan los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde (litros/kilogramo, Mm³) de la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo para el periodo agrícola 2012-2013. Obteniéndose un volumen total (Huella Hídrica azul más verde) de 1,517.05 Mm³ destinado para actividades agrícolas.

En los anexos 111 al 123 se presentan los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde (litros/kilogramo, Mm³) de la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo para el periodo agrícola 2013-2014. Obteniéndose un volumen total (Huella Hídrica azul más verde) de 1,670.01 Mm³ destinado para actividades agrícolas.

Al cambiarse cultivos año con año para los diferentes Distritos de Riego, implicó un mayor procesamiento de los datos.

Para obtener un mejor procesamiento y entendimiento de los resultados de Huella Hídrica Azul más Verde de cada cultivo para cada Distrito de Riego en el periodo de 2004-2017, lo cual se consideró como condiciones actuales. Se hizo necesario en primera instancia comparar dichos resultados de cada cultivo conforme pasaban los años, es decir, se compararon para un mismo cultivo los volúmenes de agua requeridos a lo largo de todo el periodo de análisis. Debiéndose analizar cada Distrito de Riego por separado.

Para lo antes mencionado, se crearon tablas de resumen tomando como base los resultados de Huella Hídrica Azul más Verde en litros/kilogramo, pues es la unidad en la que generalmente se representa y la que permite conocer el volumen de agua que se requiere para generar 1 kilogramo de producto o biomasa, fundamentado en diferentes estudios que calculan valores de Huella Hídrica. (Mekonnen, 2012).

En primera instancia fue necesario realizar un compendio por Distrito de Riego para todos los años de análisis, de tal manera que se pudiera obtener la sumatoria de volúmenes de Huella Hídrica de cada cultivo para los 9 años de análisis (2004-2017), con lo cual se está analizando este indicador bajo condiciones presentes.

Paso seguido, se realizaron tablas donde se concentró el volumen total (litros/kilogramo) de Huella Hídrica para cada cultivo en cada Distrito de Riego para los 9 años de análisis, como se observa en la tabla 4.19. Así mismo se analizaron los valores de percentiles (25, 50 y 75), pues son los más representativos, a diferencia de representar todos los valores de láminas. Y esto se puede justificar porque efectivamente los cultivos en un mismo distrito de riego cambian radicalmente de un año a otro. Por tanto, solo veremos que sucede en la mitad de la probabilidad (cuál fue el volumen que se utilizó).

De igual manera se calculó un índice "IQR" (rango intercuartil), el cual es la diferencia entre el tercer y el primer cuartil de una distribución. Es una medida de la dispersión estadística. Notándose que este índice no varía cuando se tiene registro de algún cultivo solamente un año, o bien, cuando el rendimiento del mismo cultivo no varía de un año a otro (Berenson, 2006).

En la tabla 4.19 se observa como varían los volúmenes de agua que se requieren para cada cultivo en cada año agrícola, en este caso para el Distrito de Riego 005 Delicias a manera de ejemplo. Viéndose claramente los cambios radicales en el uso de cultivos de un año agrícola a otro.

Con estas tablas se pudieron realizar graficas donde se observará la distribución de los volúmenes para cada cultivo de forma promedio para el Distrito de Riego 005 Delicias a manera de ejemplo. Ver grafica 4.5. Donde se puede apreciar que la biomasa que tienen algunos cultivos, por ejemplo, la nuez, es mucha agua que se tiene que invertir al cultivo para obtener muy poco volumen de biomasa. En otras palabras, la cantidad de biomasa que obtenemos comparado con el volumen de agua que se le invierte, es muy poca. Los cultivos de consumo alto de agua son, la nuez, el algodón, cacahuete, sorgo, soya. En el caso de la alfalfa a pesar de que se destinan grandes volúmenes de agua en su producción, se produce una cantidad de biomasa alta.



Las tablas y graficas anteriormente explicadas fueron obtenidas para cada Distrito de Riego en cuestión para el periodo 2004 al 2017, como se aprecia en los anexos del 131 al anexo 154.

Tal como se mencionó anteriormente, fue necesario obtener graficas que mostraran la distribución de los valores promedios de Huella Hídrica azul más verde requerida para generar 1 kg de biomasa de algún cultivo. Este procedimiento se calculó para cada Distrito de Riego, y para todos los años de análisis de 2004 a 2017.

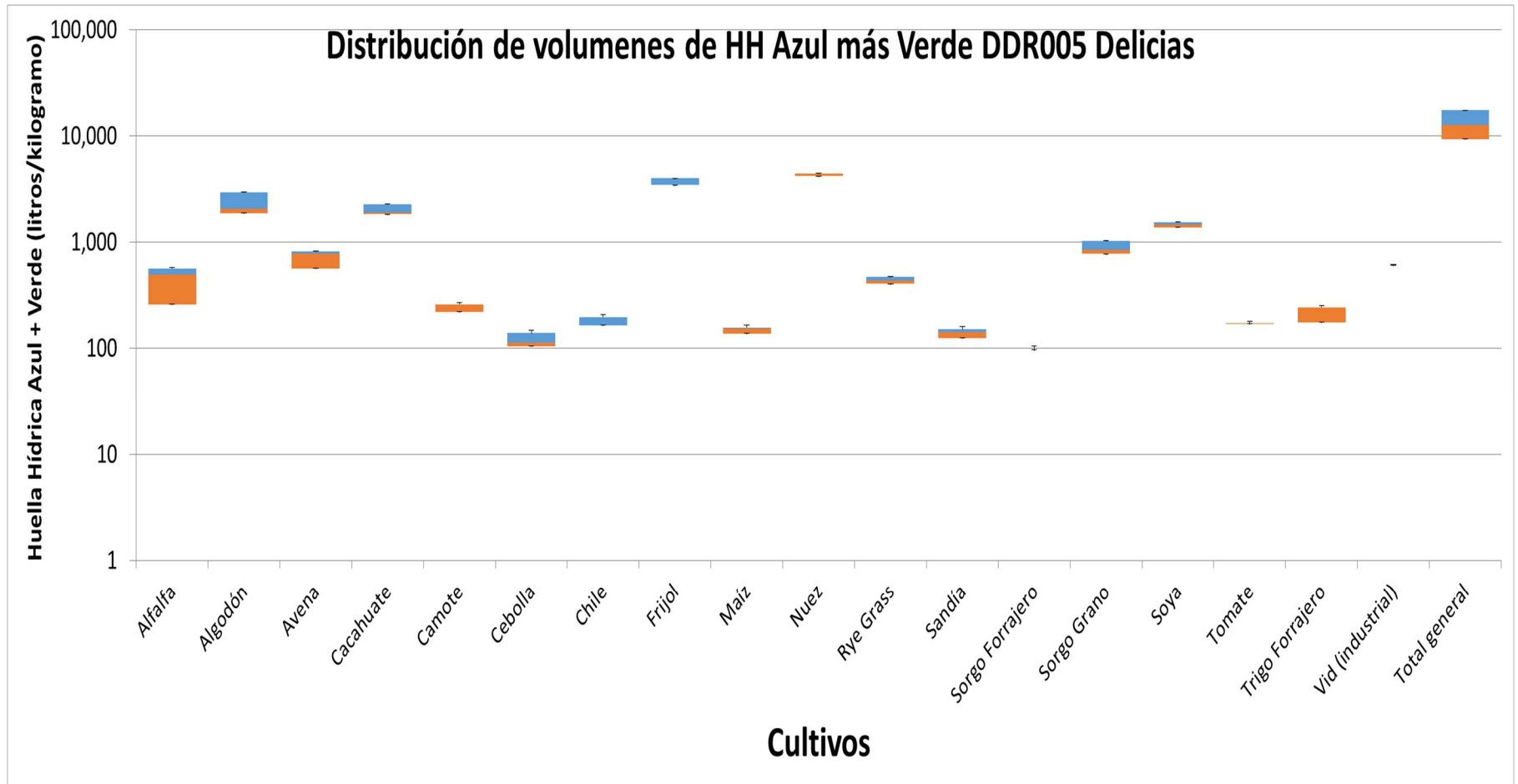
Para realizar conclusiones pertinentes, se analizaron los valores del percentil 50 o la media del volumen necesario para obtener 1 kg de biomasa de cada producto.

Tabla 4.19. Tabla resumen de valores de Huella Hídrica azul más verde para cultivos del Distrito de Riego 005 Delicias en litros/kilogramo, periodo 2004-2017.

Etiquetas		Suma de Azul + Verde (lt/kg) de column																		
Etiquetas de fila	Alfalfa	Algodón	Avena	Cacahuete	Camote	Cebolla	Chile	Frijol	Maíz	Nuez	Rye Grass	Sandía	Sorgo Forrajer	Sorgo Grano	Soya	Tomate	Trigo Forrajer	Vid (industrial)	Total general	
2004 - 2005	570	1,877	862	1,842	183	139	333	5,172	1,368	4,138				1,030					17,512	
2006 - 2007	566	4,059	913	2,380		112	197	3,978	137	4,775		151		1,159	1,618			482	20,526	
2007 - 2008	563	1,836	776	1,904	258	139	164	3,448	122	4,434		175		773	1,294	169		607	16,661	
2008 - 2009	493		776	2,040	258	115	230	2,155	156	4,434	374	132		713		169	108	607	12,759	
2009 - 2010	493	5,933	564	1,632		86	164	3,448	156	4,434	499	151		843		169	243	607	19,421	
2011 - 2012	259	1,886		2,312		108	167		153	4,341		132							9,357	
2012 - 2013	259	2,571	564	1,632		167	164		156	4,434		151	96				243	607	11,043	
2013 - 2014	246	1,890	517	1,825		103	144		137	4,194		105							9,162	
2016 - 2017	168	2,204		2,284		74	144		114	3,651		106							8,745	
Total general	3,618	22,257	4,972	17,850	699	1,042	1,708	18,201	2,498	38,833	873	1,102	96	4,517	2,912	506	595	2,909	125,187	
Max	570	5933	913	2380	258	167	333	5172	1368	4775	499	175	96	1159	1618	169	243	607	20526	
0.75	563	2943	819	2284	258	139	197	3978	156	4434	468	151	96	1030	1537	169	243	607	17512	
0.5	493	2047	776	1904	258	112	164	3448	153	4434	437	141	96	843	1456	169	243	607	12759	
0.25	259	1884	564	1825	220	103	164	3448	137	4194	405	125	96	773	1375	169	176	607	9357	
Min	168	1836	517	1632	183	74	144	2155	114	3651	374	105	96	713	1294	169	108	482	8745	
IQR	304	1060	255	460	38	35	33	530	20	240	62	25	0	258	162	0	68	0	8155	
Maximum	7	2990	94	95	0	28	136	1194	1211	341	31	25	0	129	81	0	0	0	3014	
0.75 Percentile	70	896	43	381	0	26	33	530	4	0	31	9	0	187	81	0	0	0	4753	
Median	234	164	212	79	38	9	0	0	16	240	31	16	0	70	81	0	68	0	3403	
0.25 Percentile	259	1884	564	1825	220	103	164	3448	137	4194	405	125	96	773	1375	169	176	607	9357	
Minimum	91	47	47	193	38	30	21	1293	23	543	31	20	0	59	81	0	68	125	611	

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Grafica 4.1. Distribución de los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde para el Distrito de Riego 005 Delicias en litros/kilogramo, para el periodo de 2004 a 2017.



Al analizar los resultados obtenidos en las tablas 4.6 a la 4.18, nos percatamos que los volúmenes distribuidos que aparecen en las Estadísticas de los Distritos de Riego superan por mucho los volúmenes calculados con esta metodología. Esto se debe a que no se consideran aspectos como evapotranspiraciones, infiltraciones, pérdidas en la red, conducción de la presa a la derivadora, conducción de la derivadora a los canales principales, conducción de los canales principales a los secundarios y pérdidas en la bocatoma. Por tanto, se encontró que el volumen distribuido que aparece en las Estadísticas Agrícolas corresponde a todo el volumen que llega a la derivadora, en consecuencia, el volumen que se obtuvo en esta investigación no considera esos volúmenes que se van perdiendo.

Partiendo de lo anterior, se procedió a obtener todos los parámetros que representaran alguna pérdida en el sistema y con ello sustentar que los volúmenes de Huella Hídrica obtenidos en este capítulo son correctos. Esto se hizo con ayuda de datos de eficiencia con los que se contaba. Los informes de eficiencia de los que se hace mención son documentos donde se estipula que, realizando ciertos cambios en las técnicas de cultivo, se tendrá una mejora en la eficiencia de riego (más tecnificado).

Es importante detallar que el análisis que se realizó para obtener el volumen infiltrado (el cual desconocemos si realmente se infiltra o no se infiltra) fue, al volumen que se distribuye, según las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, se le resta en primera instancia las pérdidas por conducción, así mismo se le resta la evapotranspiración (volumen calculado con esta metodología), y finalmente se le restaron los retornos. Esto corresponde al volumen con el cual se está cerrando el balance para justificar la diferencia entre el volumen calculado y el distribuido.

Mientras que, para el caso de las descargas, estas se calcularon restandole al volumen de retorno, el volumen evaporado y el volumen infiltrado respectivamente. Es importante mencionar que este volumen no afecta al porcentaje de diferencia, pues corresponde al volumen que se descarga de la parcela.

Finalmente, para obtener el porcentaje de diferencia entre un volumen y otro (volumen calculado y el distribuido), se aplicó una división entre el volumen distribuido según las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego y el volumen infiltrado.

Como ejemplo, tenemos el caso del Distrito de Riego 005 Delicias, que mediante informes se registra una eficiencia del 55% y nosotros logramos calcular mediante este estudio un 48%. Así mismo cuando comparamos lo referentes a evapotranspiración ellos estiman 80%, mientras que nosotros logramos obtener un 68%. Teniendo un error del 7%, considerado bastante aceptable.

Obteniéndose al final de manera general para todos los Distritos de Riego analizados diferencias entre los volúmenes calculados y los volúmenes distribuidos menores al 10% como se aprecia en la tabla 4.20, donde se muestra este análisis por Distrito de Riego. Teniendo en consideraciones que en muchas ocasiones se pierde agua por evaporación directa.

Tabla 4.20. Perdidas que se presentaron en cada uno de los Distritos de Riego en el periodo 2004-2017.

Distrito de Riego	Volumen Distribuido EADDR (Mm ³)	Volumen Calculado ET (Mm ³)	Diferencia original (%)	Pérdidas por conducción (Mm ³ , % Vol. Distribuido)		Flujo de retorno (Mm ³ , % Vol. Distribuido)		Flujo evaporado (Mm ³ , % Vol. Retorno)		Flujo infiltrado (Mm ³ , % Vol. Retorno)		Flujo descargado (Mm ³)	Diferencia final (%)
004 Don Martín	135	62	54%	34	25%	34	25%	0	0%	0	0%	34	4%
005 Delicias	795	378	52%	189	24%	199	25%	40	20%	50	25%	109	4%
006 Palestina	40	24	41%	8	20%	8	20%	2	20%	2	25%	4	1%
009 Valle de Juárez	129	111	14%	11	9%	0	0%	0	20%	0	25%	0	5%
025 Bajo Río Bravo	727	566	22%	149	20%	0	0%	0	20%	0	25%	0	2%
026 Bajo Río San Juan	414	239	42%	121	29%	54	13%	11	20%	13	25%	30	0%
031 Las Lajas	15	9	44%	3	20%	3	20%	1	20%	1	25%	2	4%
042 Buenaventura	73	25	66%	18	25%	18	25%	4	20%	5	25%	10	16%
050 Acuña-Falcón	9	22	-146%	1	10%	0	0%	0	20%	0	25%	0	-156%
089 El Carmen	133	73	45%	27	20%	27	20%	5	20%	7	25%	15	5%
090 Bajo Río Conchos	57	30	47%	14	25%	14	25%	3	20%	4	25%	8	0%
103 Río Florido	78	34	56%	7	9%	20	25%	4	20%	5	25%	11	22%
113 Alto Río Conchos	76	26	66%	19	25%	19	25%	4	20%	5	25%	10	16%

Elaboración propia en base a informes de eficiencias en los Distritos de Riego.

Como conclusiones de esta actividad se puede detallar:

Para la zona de estudio se encontró que el volumen de Retorno por lo general oscila entre el 20%-25%.

El Distrito de Riego 026 Bajo Río San Juan, fue uno de los que presento alguna anomalía en su análisis, pues muchos de los datos encontrados en cuanto a eficiencia, demostraban una eficiencia en el uso del agua de un 100%, es decir, que el agua que les distribuyen es exactamente el que utilizan para irrigación, no teniendo algún sobrante, cuestión que es muy extraña en la realidad. Otra de las teorías es que probablemente emplearon agua suplementaria de fuente subterránea para lograr esa eficiencia.

En algunos Distritos de Riego como el 042 Buenaventura, 103 Río Florido y 113 Alto Río Conchos, donde el porcentaje de diferencia entre el volumen calculado y el distribuido superaba el 10%, se justificó pues al ser Distritos de Riego con muy poca superficie, no requieren que se irrigen de manera continua como es el caso de los Distritos de Riego de gran extensión (se debe de mantener el suelo más húmedo). De igual forma algunos de esos Distritos de Riego (103 y 113) se encuentran en la parte alta del río, lo que les ocasiona emplear todo el volumen que se les distribuye y en algunas ocasiones requiriendo un volumen extra. Así mismo puede ser resultado de la infiltración o evaporación directa dichas pérdidas.

En el Distrito de Riego 050 Acuña Falcón se observó que el volumen distribuido era mucho menor al volumen evapotranspirado o calculado, cosa que pareció totalmente extraña, pues esto no puede ser posible. Pero este caso particular se sustenta porque en este sitio se tiene que suplementar agua proveniente de fuente subterránea para satisfacer los requerimientos de irrigación.

Con la realización de esta actividad, nos dimos cuenta de que en algunos lugares (distritos de riego), se emplea menos agua, debido a que las condiciones climáticas son diferentes. Y lo que se verá es lo que se conoce como Climate Smart Agriculture. Que consiste en pocas palabras, en realizar agricultura, pero considerando factores como el clima, en general analizando los recursos con los que se cuenta.

Finalmente, con los resultados obtenidos en este capítulo (volúmenes promedios o mediana), se procedió a realizar una tabla de valores comparativos de Huella Hídrica azul más verde para cada cultivo en cada uno de los Distritos de Riego en cuestión. Esto con el objetivo de poder apreciar cuales son los Distritos de Riego que emplean mayor cantidad o menor cantidad de agua en la generación de un kilogramo de biomasa para cierto cultivo. Lo cual fue uno de los objetivos fundamentales de esta investigación. Se sugirió realizar este procedimiento tanto en litros/kilogramo y en Mm^3 . Como se aprecia en las tablas 4.21 y 4.22.

Tabla 4.21. Tabla comparativa de valores de Huella Hídrica por cultivo en litros/kilogramo para la RHA VI Río Bravo, periodo 2004-2017.

Sum of HH (lt/kg)	Etiquetas de columna													Promedio
Etiquetas de fila	DR004	DR005	DR006	DR009	DR025	DR026	DR031	DR042	DR050	DR089	DR090	DR103	DR113	
Alfalfa		493	411	652		478	780	653		578	555	367	268	524
Algodón		2,047		4,665	2,338	4,153		2,659		3,009	3,341			3,173
Avena	420	776	340	367				2,209	348	2,311	1,089	1,167		1,003
Berenjena						36								36
Bermuda							1,557							1,557
Bermuda (Zacate)			587			2,359								1,473
Brocoli					625									625
Búffel	457		687		1,444	1,776	2,259		441			256		1,046
Cacahuete		1,904								2,648		2,597		2,383
Calabaza					345	404								375
Camote		258												258
Canola/Mostaza					3,024									3,024
Cartamo	10,783													10,783
Cebolla		112			169	114						165	126	137
Chile		164			5,700	180		298		292		249	156	1,006
Eucalipto					2,807	712								1,760
Frijol	4,781	3,448	5,467		2,450	3,004		4,010	4,340	5,209	4,914	4,554		4,218
Frutales				4,422										4,422
Garbanzo						3,004								3,004
Girasol					11,310	2,732								7,021
Hortalizas	212			852		109			113		540			365
Klein Grass (Zacate)			610									307		459
Maíz		153		244						1,241				546
Maíz Forrajero						542				186		162	150	260
Maíz Grano	1,581		1,804		532	506	980	907	1,284		2,548	1,026		1,241
Maíz Palomero						844								844
Manzano								1,868						1,868
Melón						165			112		198			158
Melón	151				93	131	268				198			168
Naranja					5,483	733								3,108
Nopal Verdura						337								337
Nuez		4,434	7,955	5,868				5,891	4,477	4,622	3,186	4,666	4,025	5,014
Okra					372	950								661
Oleaginosas						1,989								1,989
Otras Oleaginosas					2,650									2,650
Otros Forrajeros							1,770							1,770
Otros Forrajes				498					487					493
Otros Forrajes Verdes			614											614
Otros Granos									3,062					3,062
Pastos	424			640	2,505	2,033	315	655						1,095
Pepino						57								57
Rabano					2,339									2,339
Rye Grass	689	437		443				681	579	395		256		497
Rye Grass (Zacate)			612								252			432
Sábila	43					155								99
Sábila (Aloe)					494									494
Sandía		141	558		256	165	188							262
Sandía									115					115
Sorgo Escobero	5,404		1,324				552							2,426
Sorgo Forrajero	258	96	204	207	1,368	229	529		240		416	143		369
Sorgo Grano	1,449	843	1,818		609	635	959	1,095	921	1,345	1,998	1,087		1,160
Soya	1,273	1,456			750	1,284	900							1,132
Srogo Grano			1,448											1,448
Sudan (Zacate)				517	2,277									1,397
Tomate		169			546	264	696					7,347		1,804
Trigo Forrajero		243						1,268						755
Trigo Grano	1,510		2,106	1,348			2,743	1,383		1,426	2,033	1,458		1,751
Triticale Forrajero Verde			305									146		225
Vid (industrial)		607												607
Zanahoria					87									87
Forrajes Asociados										1,614				1,614
Durazno												1,875		1,875
Haba												3,036		3,036

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Tabla 4.22. Tabla comparativa de valores de Huella Hídrica por cultivo en Mm³ para la RHA VI Río Bravo, periodo 2004-2017.

Suma de HH (Mm3)	Etiquetas de columna													Promedio
Etiquetas de fila	DR004	DR005	DR006	DR009	DR025	DR026	DR031	DR042	DR050	DR089	DR090	DR103	DR113	
Alfalfa		234.02	0.33	23.71		0.19	0.02	5.18		16.52	14.79	17.89	8.10	32.08
Algodón		7.97		54.84	5.24	7.57		0.22		3.73	2.60			11.74
Avena	0.36	2.81	3.72	1.41				0.19	0.67	1.66	3.16	0.85		1.65
Berenjena						0.01								0.01
Bermuda							4.81							4.81
Bermuda (Zacate)			1.43			7.60								4.51
Brocoli					0.14									0.14
Búffel	25.23		0.39		10.25	11.19	3.85		17.07			0.01		9.71
Cacahuete		23.56								0.83		0.16		8.18
Calabaza					0.04	0.01								0.03
Camote		0.39												0.39
Canola/Mostaza					0.57									0.57
Cartamo	6.67													6.67
Cebolla		8.94			0.06	0.19						0.16	0.38	1.95
Chile		26.83			0.02	0.08		1.36		21.34		0.80	1.30	7.39
Eucalipto					0.02	0.04								0.03
Frijol	0.04	0.28	0.18		0.02	0.01		1.15	0.03	1.54	0.01	0.37		0.36
Frutales				1.24										1.24
Garbanzo						0.02								0.02
Girasol					0.07	0.13								0.10
Hortalizas	0.09			0.03		0.24			0.72		0.16			0.25
Klein Grass (Zacate)			5.23									0.08		2.65
Maíz		27.61		0.33						1.41				9.78
Maíz Forrajero						96.88				0.52		6.28	0.93	26.16
Maíz Grano	3.62		2.50		91.86	124.51	0.40	0.05	0.33		0.09	2.51		25.10
Maíz Palomero						1.93								1.93
Manzano								0.19						0.19
Melón						0.09			0.15		0.05			0.10
Melón	0.06				0.09	0.58	0.02				0.02			0.15
Naranja					0.01	1.27								0.64
Nopal Verdura						0.04								0.04
Nuez		37.88	0.17	2.21				3.83	1.43	14.79	1.34	3.47	20.37	9.50
Okra					8.47	0.54								4.51
Oleaginosas						0.31								0.31
Otras Oleaginosas					0.73									0.73
Otros Forrajeros							0.44							0.44
Otros Forrajes				7.52						11.49				9.50
Otros Forrajes Verdes			0.08											0.08
Otros Granos									1.21					1.21
Pastos	16.08			0.62	18.80	6.86	2.24	0.21						7.47
Pepino						0.02								0.02
Rabano					0.02									0.02
Rye Grass	0.59	0.70		3.23				0.18	1.09	0.70		0.29		0.97
Rye Grass (Zacate)			0.80								2.90			1.85
Sábila	0.04					0.02								0.03
Sábila (Aloe)					0.05									0.05
Sandía		16.50	0.13		0.03	0.06	0.04							3.35
Sandía								0.26						0.26
Sorgo Escobero	0.23		0.02				0.23							0.16
Sorgo Forrajero	1.82	0.54	7.37	7.50	0.08	0.60	0.58		2.37		2.81	0.39		2.41
Sorgo Grano	18.31	0.60	0.70		451.51	74.69	3.62	7.16	0.37	4.77	0.12	0.04		51.08
Soya	1.53	0.10			1.10	0.21	0.28							0.64
Srogo Grano			0.01											0.01
Sudán (Zacate)				2.89	17.32									10.11
Tomate		3.13			0.07	0.02	0.02					0.03		0.65
Trigo Forrajero		5.01						0.05						2.53
Trigo Grano	10.80		0.16	11.66			0.12	1.26		1.51	0.10	0.21		3.23
Triticale Forrajero Verde			0.05									0.06		0.06
Vid (industrial)		1.19												1.19
Zanahoria					0.26									0.26
Forrajes Asociados										1.04				1.04
Durazno												0.05		0.05
Haba												0.05		0.05

Elaboración propia en base a (CROPWAT 8.0 {Software}, 2006).

Al realizar el análisis en Mm^3 se pretende saber si un cultivo que genera una Huella Hídrica grande consume de igual forma un volumen muy grande de agua, de igual forma poder identificar aquellos cultivos con una pequeña Huella Hídrica que consumen un gran volumen de agua.

Mediante el uso de esta tabla podremos saber qué Distrito de Riego está sembrando ciertos cultivos. Además, mediante diferentes tonalidades de colores, podremos conocer los Distritos de Riego que invierten mayor agua en la siembra de algún cultivo, donde rojo corresponde a los valores mayores, amarillo a los valores medios y verde a los valores menores.

Pudimos darnos cuenta de que, así como existen cultivos que se siembran a lo largo de toda la Región Hidrológico-Administrativa del Río Bravo de forma constante, hay cultivos que se siembran de manera esporádica.

Cultivos como el Cártamo, Girasol, Okra, Frijol, Algodón, Naranja, Haba, Garbanzo y la Canola, presentan valores de Huella Hídrica superiores a los 3,000 litros por kilogramo de biomasa, lo que resulta realmente alarmante sabiendo que es una región con alto grado de escasez de agua.

En cuanto a volúmenes de agua (Mm^3), observamos que cultivos como el Sorgo Grano, Alfalfa, los diferentes tipos de maíz (grano y forrajero), son los cultivos que en promedio consumen más agua, aunque muchos de estos cultivos no representen una Huella Hídrica grande.

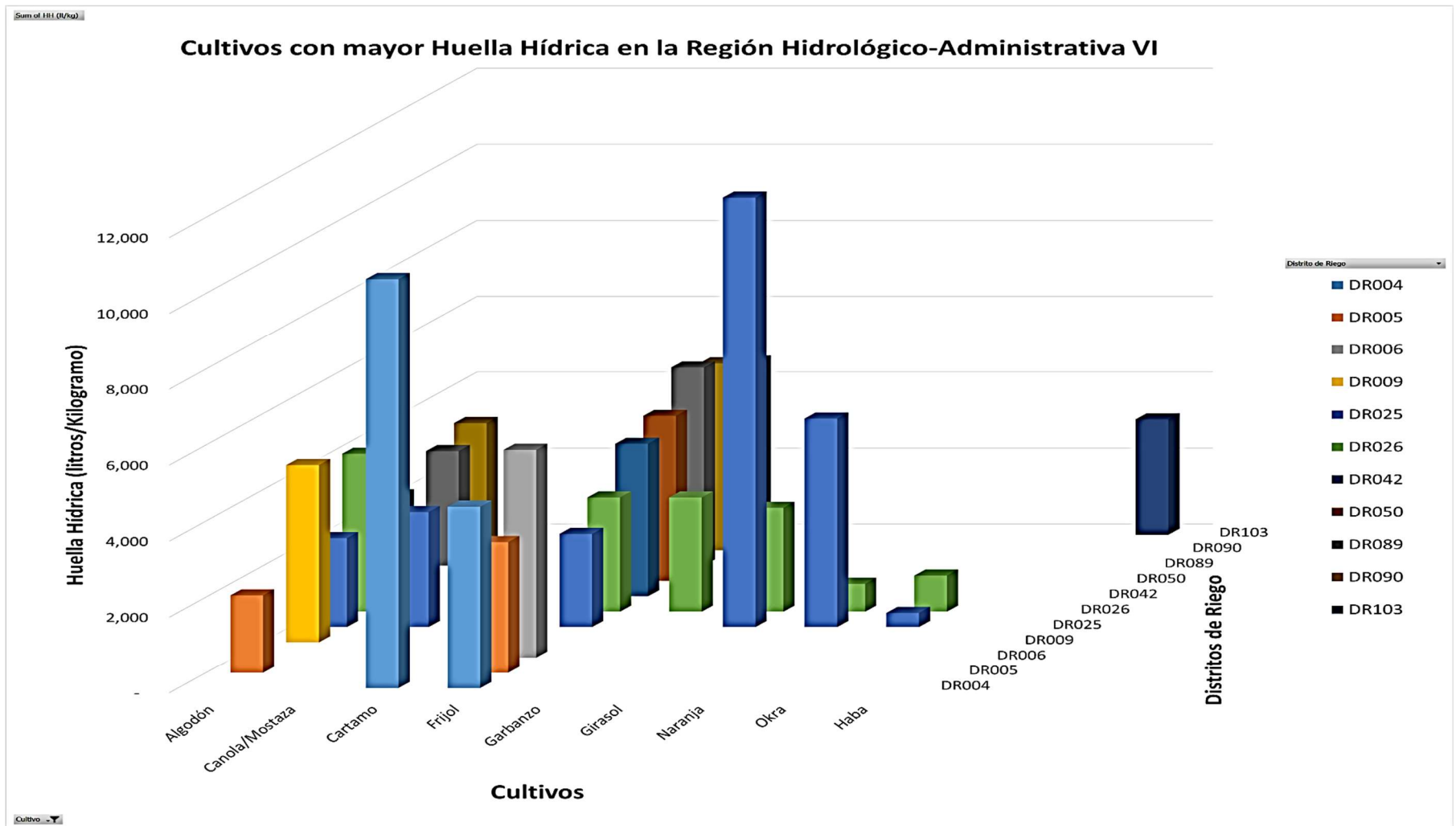
Con lo anterior queremos demostrar que, aunque existen cultivos con una Huella Hídrica grande, esto no implica que el consumo de agua durante su proceso de producción lo sea. Caso contrario tenemos cultivos con baja Huella Hídrica pero que, durante el proceso de irrigación, ocupan muchísima agua.

Para finalizar en función de los resultados anteriormente descritos, se procedió a realizar graficas de los cultivos con mayor Huella Hídrica y los cultivos que emplean un mayor volumen de agua, con el fin de ver el comportamiento por cada uno de los Distritos de Riego en cuestión, como se aprecia en las gráficas 4.2 y 4.3.

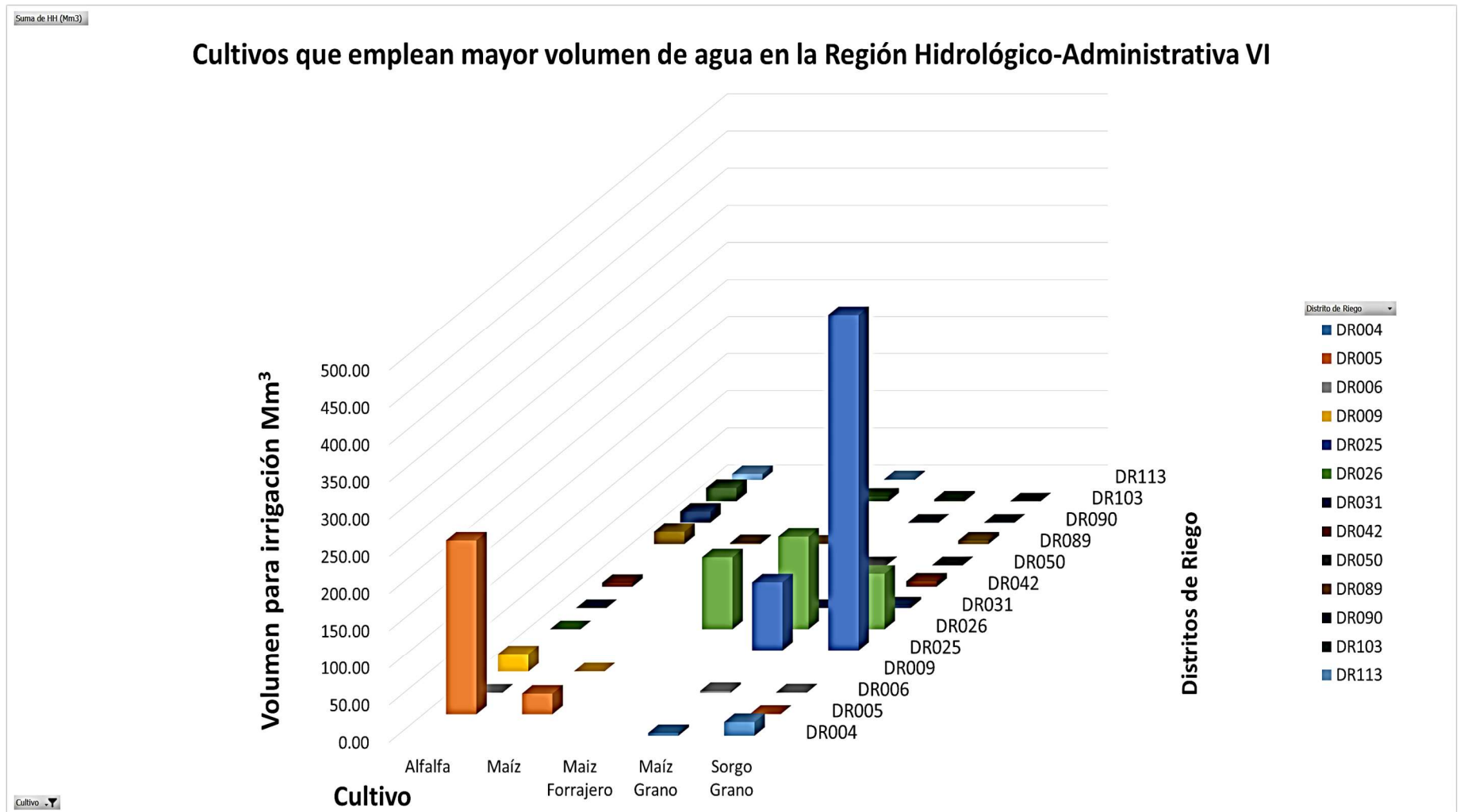
Para visualizar lo anterior, fue necesario realizar mapas que mostraran los principales cultivos de toda la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo, que representan tanto mayor Huella Hídrica como mayor consumo de volumen de agua como se aprecia en las figuras 4.9 y 4.10 respectivamente.

Es evidente que los Distritos de Riego que ocupan un mayor volumen de agua son los que disponen de una mayor área.

Grafica 4.2. Cultivos con mayor Huella Hídrica en litros/kilogramo en la RHA VI/Río Bravo, para el periodo de 2004 a 2017.



Grafica 4.3. Cultivos que emplean mayor volumen de agua en Mm³ en la RHA VI/Río Bravo, para el periodo de 2004 a 2017.



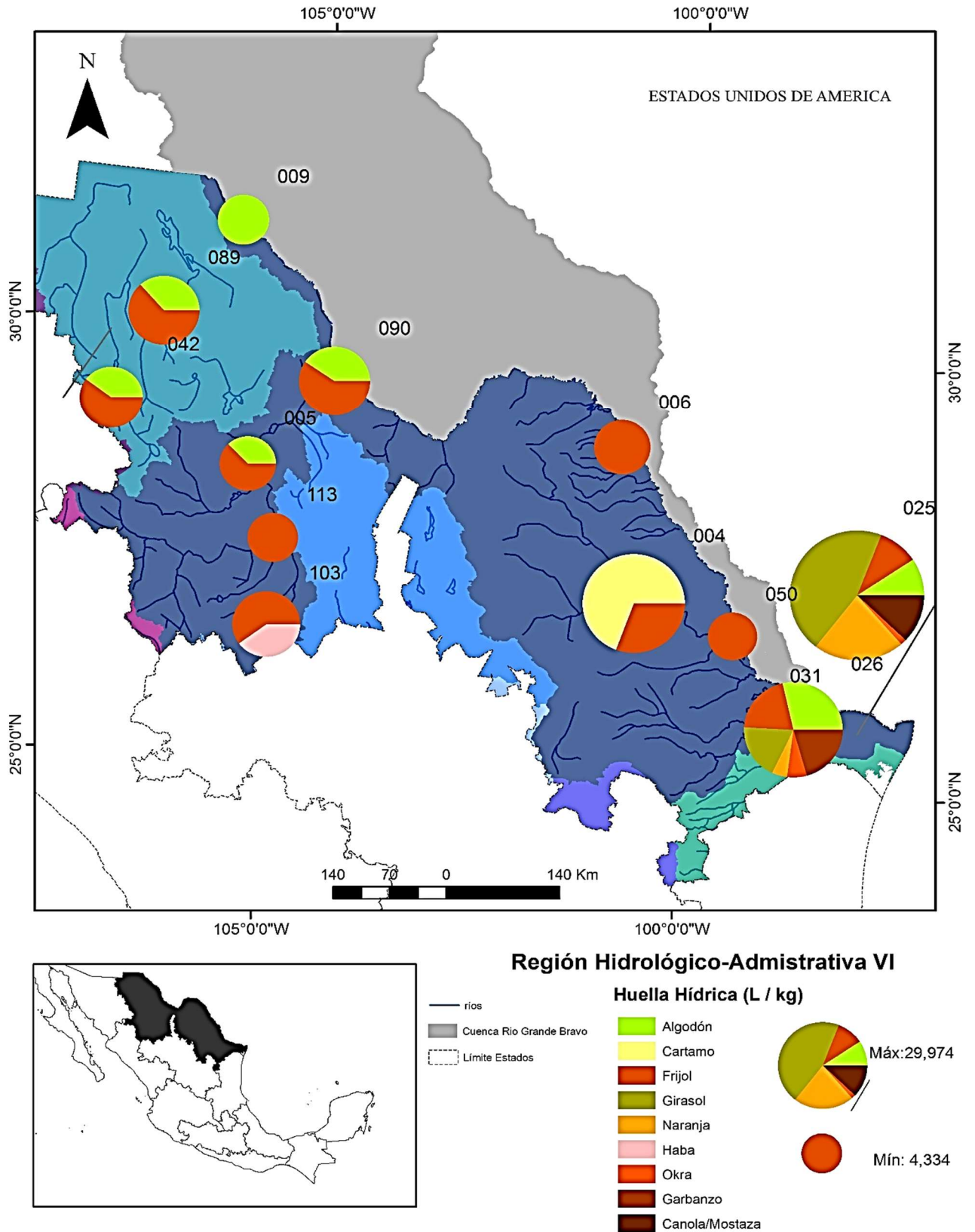


Figura 4.9 Cultivos con mayor Huella Hídrica en la Región-Hidrológico Administrativa VI / Río Bravo en Litros/Kilogramo. Fuente: Elaboración propia en base a (IMTA, 2016).

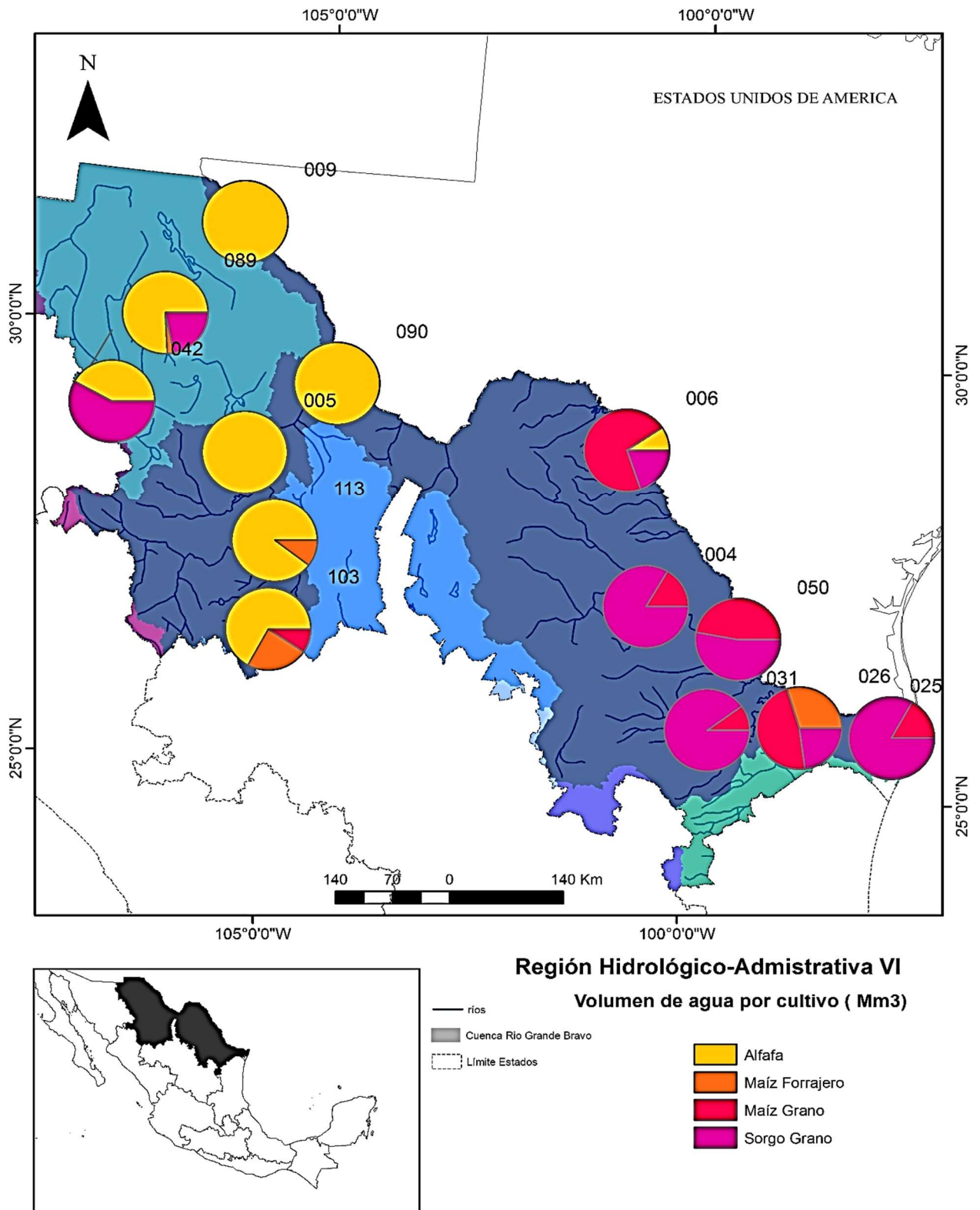


Figura 4.10 Cultivos que emplean mayor volumen de agua en la Región-Hidrológico Administrativa VI / Río Bravo en Litros/Kilogramo. Fuente: Elaboración propia en base a (IMTA, 2016).

IV.2 Obtención de la Huella Hídrica azul más verde para condiciones pasadas, en función de usos consuntivos totales.

Dentro de este capítulo, se desarrolló otra forma de obtener la Huella Hídrica azul más verde, esto en función de los usos consuntivos totales. Los cuales fueron tomados del trabajo realizado por Escorcía en el año 2016, quien calculo estos usos consuntivos totales para el periodo 1900-1943.

Para lo cual se hace necesario en primera instancia mencionar que en este proyecto se utilizó el método de Thornthwaite desarrollado en 1944, basado en los registros de temperatura media mensual y la latitud de la zona de estudio, dando como resultado el uso consuntivo total mensual y se calcula mediante la Ecuación 23, (Aparicio, 2001).

$$U_{jt} = 1.6 K_a \left(\frac{10T_j}{I}\right)^a \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde U_j es el uso consuntivo total en el mes dado en cm, T_j la temperatura media en el mes expresado en grados centígrados, la cual se correlacionó y se aplicó una ecuación lineal en los casos donde no se encontraron registros completos, I y a son constantes y K_a es una constante que depende de la latitud y del mes. Para calcular la constante I se utiliza la Ecuación 24 y para la constante a la Ecuación 26 la cual depende completamente de la constante I .

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad \text{De la cual} \quad (\text{Ec. 24})$$

$$i_j = \left(\frac{T_j}{5}\right)^{1.514} \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde T_j es la temperatura media en el mes

$$a = 675 \times 10^{-9} * I^3 - 771 \times 10^{-7} * I^2 + 170 \times 10^{-4} * I + 0.492 \quad (\text{Ec. 26})$$

K_a se obtiene de la Tabla 4.23, donde se interpola la latitud de la zona de estudio con respecto al mes del que se desea obtener la constante.

Tabla 4.23. Valores de K_a .

VALOR DE K_a												
latitud	Mes											
Grados	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.01
10	1	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
20	0.95	0.9	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1	0.93	0.91
30	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.2	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
45	0.8	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.7

Elaboración propia en base a (Aparicio, 2001).

Una vez explicado lo anterior se consideró que el uso consuntivo total es una forma de representación de la Huella Hídrica azul más verde, pues es la cantidad de agua que se requiere para las actividades agrícolas de la zona, aprovechando en su conjunto el agua proveniente de los cuerpos de agua y como lo define su concepto el agua proveniente de las lluvias.

Teniendo los valores de usos consuntivos totales (láminas en centímetros) para el periodo comprendido de 1900-1943. Se procedió a calcular los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde en 12 puntos o volúmenes de control, los cuales fueron; DDR 005 Delicias, DDR 090 Bajo Río Conchos, DDR 103 Florido, Río Pecos (Volumen 1, 2, 3 y 4), Río San Diego, San Rodrigo y arroyo Las Vacas (estos 3 analizados como un solo punto), Río Escondido, DDR 004 Don Martín, Río Alamo y Río San Juan, empleando de igual forma las series de tiempo de áreas de cultivo que se encontraron en el estudio sobre Irrigación en México en el año 1945 (Comisión Nacional de Irrigación, 1945), así como en un estudio sobre el Río Pecos (Jensen, 2006). Empleando la ecuación 27.

$$\text{HHAzul+Verde} = (\text{lámina de uso consuntivo total}) * (\text{Área de cultivo}) \quad (\text{Ec. 27}).$$

Donde:

HHAzul+Verde = Corresponde al volumen de Huella Hídrica Azul más Verde calculado para cada mes y cada año de análisis comprendido de 1900-1943 (Mm^3). Ver Anexos 124 al 126. Para los DDRs 005, 090 y 103.

Lámina de uso consuntivo total = Corresponde a valores de láminas de usos consuntivos totales para cada mes y año de análisis de 1900-1943 para cada volumen de control (cm). Ver Anexos 127 al 129. Para los DDRs 005, 090 y 103.

Área de cultivo = Corresponde a los valores de áreas para cada volumen de control en los años de análisis (Ha). Ver anexo 25 (ya se había realizado con anterioridad). Para los DDRs 005, 090 y 103.

La ecuación 27 se aplicó para cada volumen de control. Para posteriormente sumar los valores de Huella Hídrica y obtener el total en el Río Bravo. Resultando los siguientes valores para cada año, así mismo se obtuvieron las láminas de Huella Hídrica azul más verde. Ver Tabla 4.24 De igual forma se presenta de forma mensual en el anexo 130.

Es importante mencionar que este mismo procedimiento se aplicó para los restantes volúmenes de control (Río Pecos Volumen 1, 2, 3 y 4, Río San Diego, San Rodrigo y arroyo Las Vacas, Río Escondido, DDR 004 Don Martín, Río Alamo y Río San Juan), dichos volúmenes y láminas mensuales de Huella Hídrica azul más verde, se presentan en los anexos de la siguiente manera:

Anexo 213. Láminas y volúmenes de HH azul más verde. Río Pecos Volumen 1.

Anexo 214. Láminas y volúmenes de HH azul más verde. Río Pecos Volumen 2.

Anexo 215. Láminas y volúmenes de HH azul más verde. Río Pecos Volumen 3.

Anexo 216. Láminas y volúmenes de HH azul más verde. Río Pecos Volumen 4.

Anexo 217. Láminas y volúmenes de HH azul más verde. Río San Diego, San Rodrigo y arroyo Las Vacas.

Anexo 218. Láminas y volúmenes de HH azul más verde. Río Escondido.

Anexo 219. Láminas y volúmenes de HH azul más verde. DDR 004 Don Martín.

Anexo 220. Láminas y volúmenes de HH azul más verde. Río Alamo.

Anexo 221. Láminas y volúmenes de HH azul más verde. Río San Juan.

En la tabla 4.25 se presentan los valores promedio de láminas y volúmenes de Huella Hídrica azul más verde para cada punto o volumen de control mencionado anteriormente, esto para el periodo comprendido de 1900-1943.

Tabla 4.25. Volúmenes y láminas de Huella Hídrica azul más verde en los afluentes del Río Bravo.

Distrito de Riego/Volumenes de control	Láminas/Volumenes HH azul + verde	
	HH Azul + Verde (cm)	HH Azul + Verde (Mm ³)
Delicias 005	104	157
Bajo Río Conchos 090	116	147
Río Florido 103	91	111
Río Pecos Volumen 1	62	29
Río Pecos Volumen 2	83	434
Río Pecos Volumen 3	93	53
Río Pecos Volumen 4	102	32
San Diego, San Rodrigo, Las Vacas	125	249
Escondido	132	51
Don Martín 004	116	468
Alamo	147	62
San Juan	145	993

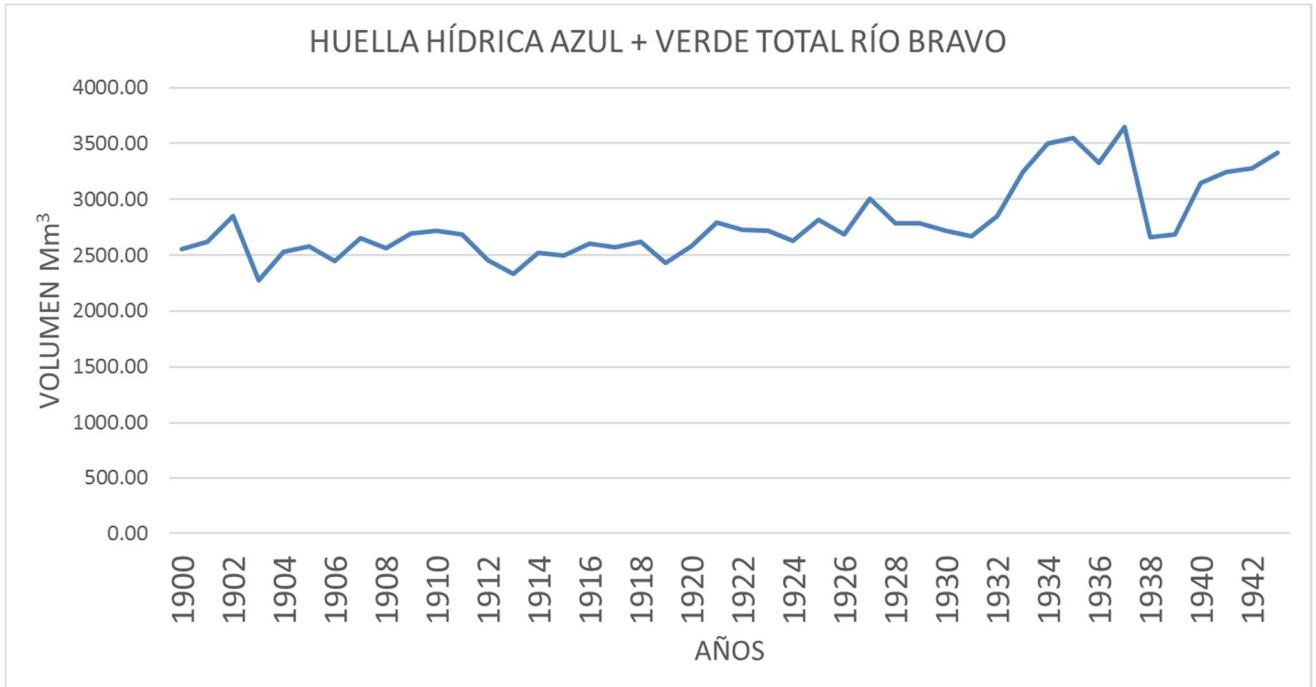
Elaboración propia con base a (Comisión Nacional de Irrigación, 1945).

Tabla 4.24. Volúmenes y láminas de Huella Hídrica Azul más Verde total Río Bravo.

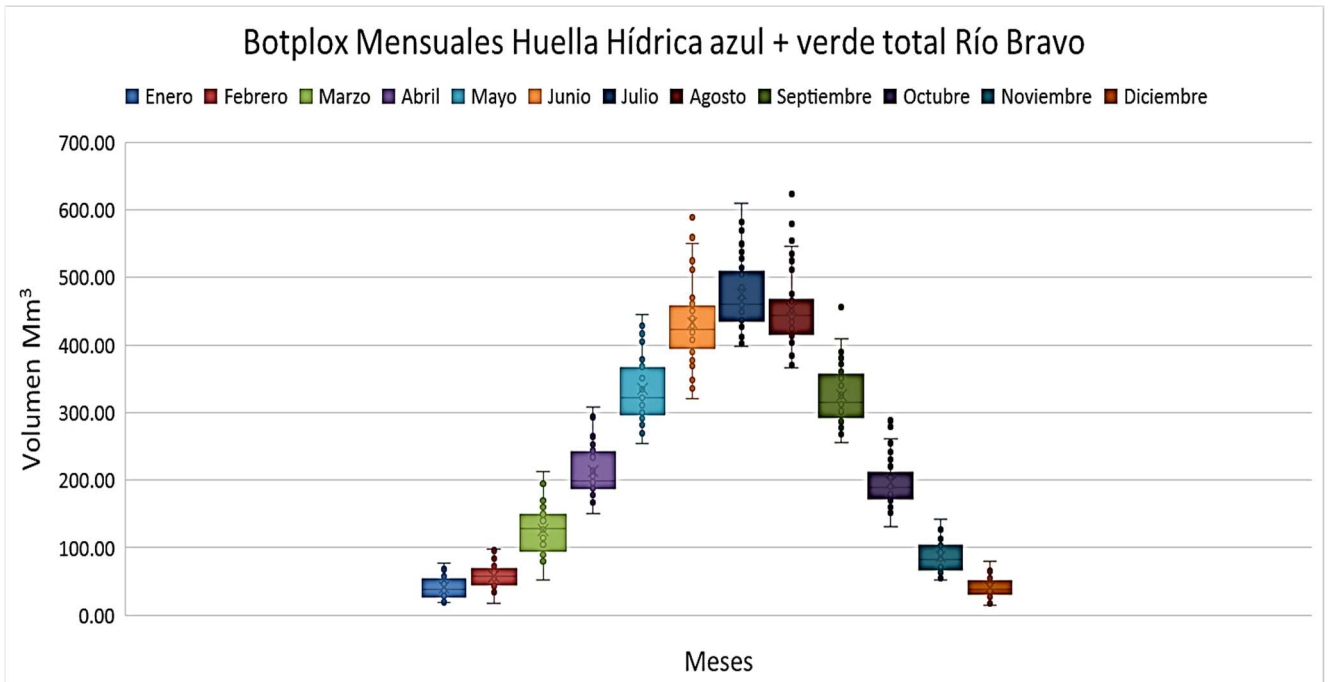
	HUELLA HÍDRICA AZUL + VERDE Mm ³	Lamina (cm) Pesada
1900	2552.99	117.17
1901	2617.65	120.08
1902	2849.42	130.66
1903	2271.07	104.09
1904	2531.32	116.05
1905	2575.79	118.04
1906	2448.30	112.14
1907	2655.18	121.57
1908	2564.09	118.97
1909	2694.81	124.38
1910	2716.90	124.19
1911	2685.37	122.82
1912	2452.32	112.01
1913	2328.88	106.23
1914	2518.55	112.94
1915	2500.56	113.75
1916	2603.20	117.18
1917	2573.80	114.65
1918	2616.03	115.34
1919	2432.20	106.24
1920	2575.42	111.46
1921	2791.62	119.71
1922	2726.25	115.85
1923	2718.96	114.51
1924	2630.78	111.53
1925	2818.01	118.58
1926	2684.41	112.91
1927	3005.65	126.37
1928	2783.62	116.99
1929	2784.26	116.97
1930	2722.24	114.32
1931	2670.79	109.22
1932	2846.84	112.74
1933	3247.35	120.66
1934	3500.49	121.73
1935	3549.65	117.15
1936	3323.49	108.18
1937	3648.73	115.56
1938	2658.57	113.39
1939	2686.74	114.71
1940	3142.10	112.95
1941	3247.82	111.69
1942	3277.36	111.81
1943	3412.80	118.31
Promedio	2787.33	115.81

Elaboración propia con base a (Comisión Nacional de Irrigación, 1945).

Lo cual se aprecia mejor en las gráficas 4.2 y 4.3.



Grafica 4.2. Comportamiento de los volúmenes de Huella Hídrica Azul más Verde en el periodo de 1900-1943. Río Bravo.



Grafica 4.3. Representación de la dispersión y simetría de los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde en el periodo de 1900-1943. Río Bravo.

En la gráfica 4.2 se puede observar que los volúmenes de Huella Hídrica Azul más Verde se van incrementando en la región del Río Conchos, conforme transcurren los años. Esto se presenta debido a que cada año aumenta la superficie de riego en cada uno de los Distritos de Riego considerados (esto se puede apreciar más claramente en el Anexo 25 de esta investigación).

IV.3 Obtención de la Huella Hídrica Verde.

Una vez que se han calculado los volúmenes de Huella Hídrica azul más verde en función de los usos consuntivos totales (capítulo IV.2), así como los volúmenes de Huella Hídrica azul en función de los usos consuntivos netos (capítulo III.2). Realizando una resta de estos valores respectivamente, se puede obtener el volumen de Huella Hídrica Verde. Ecuación 28.

Recordando en todo momento que la huella hídrica verde se concentra en el uso de agua de lluvia, específicamente en el flujo de la evapotranspiración del suelo que se utiliza en agricultura y producción forestal (WWF México, 2012).

$$\text{HHVerde} = (\text{HHAzul} + \text{Verde}) - \text{HHAzul} \quad (\text{Ec. 28}).$$

Donde:

HHVerde = Es el volumen de Huella Hídrica Verde obtenida con la resta del volumen de Huella Hídrica Azul + Verde menos el volumen de Huella Hídrica Azul.

HHAzul+Verde = Volumen de Huella Hídrica Azul más Verde obtenido en el capítulo IV.5. Ver Anexo 130.

HHAzul = Volumen de Huella Hídrica Azul obtenido en el capítulo III.2.

La ecuación 28 se aplicó para obtener el volumen total de Huella Hídrica Verde en el Río Bravo. Resultando los siguientes valores para cada año, así mismo se obtuvieron las láminas de Huella Hídrica verde. Ver Tabla 4.26 De igual forma se presenta de forma mensual en el anexo 130.1.

Es importante mencionar que este mismo procedimiento se aplicó para los restantes volúmenes de control (Río Pecos Volumen 1, 2, 3 y 4, Río San Diego, San Rodrigo y arroyo Las Vacas, Río Escondido, DDR 004 Don Martín, Río Alamo y Río San Juan), dichos volúmenes y laminas mensuales de Huella Hídrica verde, se presentan en los anexos de la siguiente manera:

Anexo 222. Láminas y volúmenes de HH verde. Río Pecos Volumen 1.

Anexo 223. Láminas y volúmenes de HH verde. Río Pecos Volumen 2.

Anexo 224. Láminas y volúmenes de HH verde. Río Pecos Volumen 3.

Anexo 225. Láminas y volúmenes de HH verde. Río Pecos Volumen 4.

Anexo 226. Láminas y volúmenes de HH verde. Río San Diego, San Rodrigo y arroyo Las Vacas.

Anexo 227. Láminas y volúmenes de HH verde. Río Escondido.

Anexo 228. Láminas y volúmenes de HH verde. DDR 004 Don Martín.

Anexo 229. Láminas y volúmenes de HH verde. Río Alamo.

Anexo 230. Láminas y volúmenes de HH verde. Río San Juan.

En la tabla 4.27 se presentan los valores promedio de láminas y volúmenes de Huella Hídrica azul más verde para cada punto o volumen de control mencionado anteriormente, esto para el periodo comprendido de 1900-1943.

Tabla 4.27. Volúmenes y láminas de Huella Hídrica verde en los afluentes del Río Bravo.

Distrito de Riego/Volumenes de control	Láminas/Volumenes HH verde	
	HH Verde (cm)	HH Verde (Mm ³)
Delicias 005	7.55	5.71
Bajo Río Conchos 090	14.12	18.31
Río Florido 103	9.52	11.02
Río Pecos Volumen 1	0.42	0.19
Río Pecos Volumen 2	0.33	1.75
Río Pecos Volumen 3	0.33	0.19
Río Pecos Volumen 4	0.33	0.11
San Diego, San Rodrigo, Las Vacas	0.50	0.99
Escondido	0.51	0.20
Don Martín 004	14.96	61.21
Alamo	0.50	0.21
San Juan	0.47	3.21

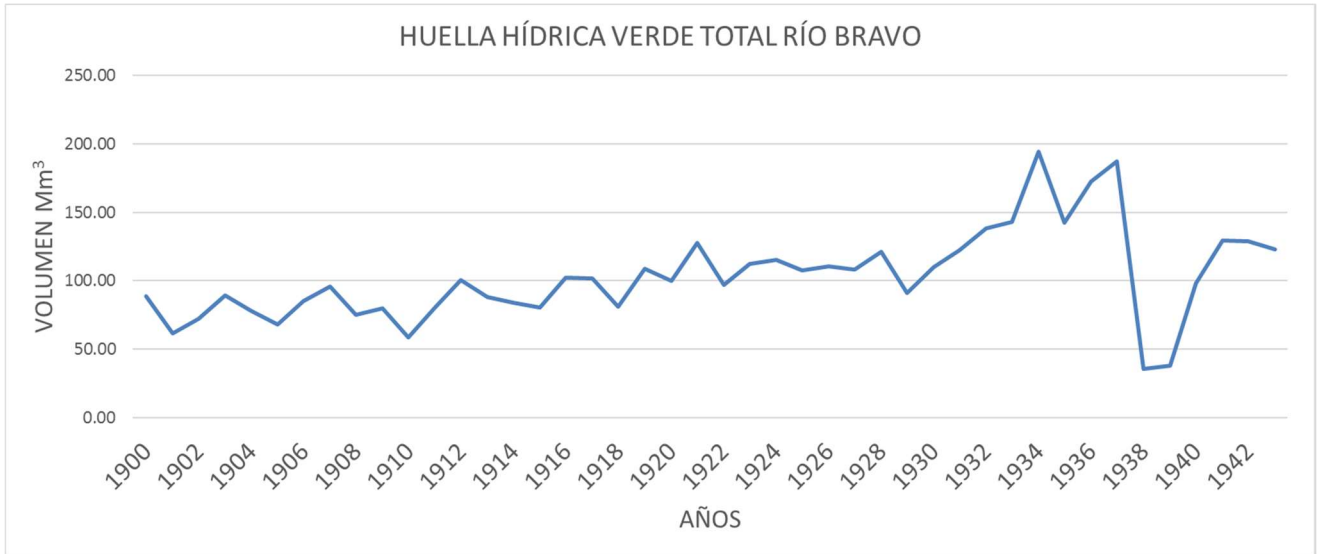
Elaboración propia con base a (Comisión Nacional de Irrigación, 1945).

Tabla 4.26. Volúmenes y láminas de Huella Hídrica Verde en la Región del Río Bravo para el periodo de 1900-1943.

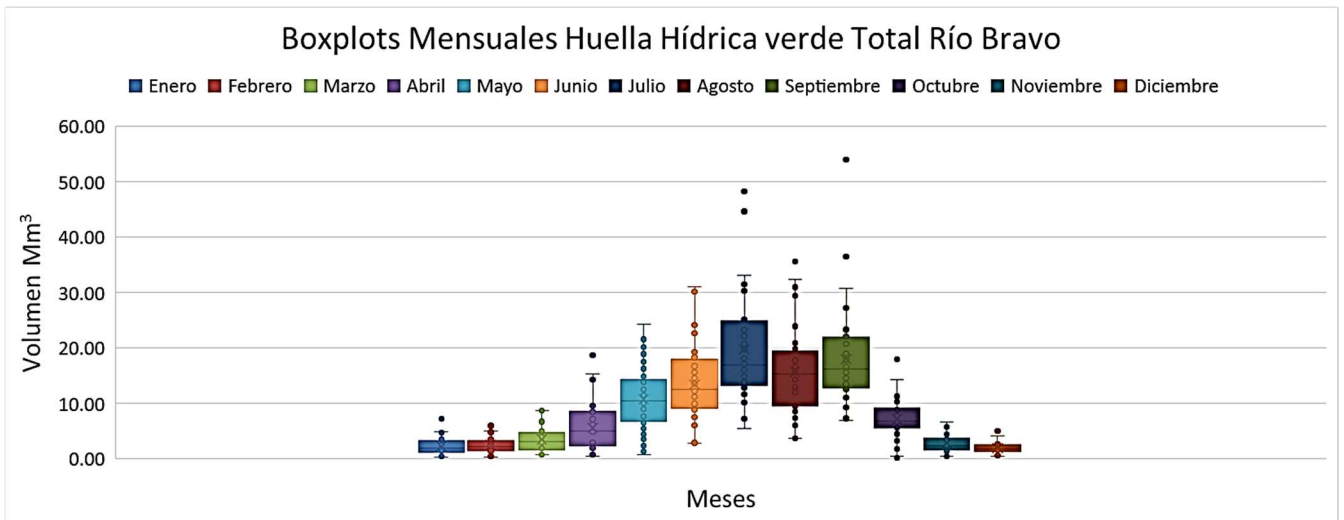
	HUELLA HÍDRICA VERDE Mm3	Lamina Verde
1900	88.50	4.1
1901	61.38	2.8
1902	72.10	3.3
1903	89.60	4.1
1904	78.08	3.6
1905	68.04	3.1
1906	84.96	3.9
1907	95.68	4.4
1908	74.98	3.5
1909	79.67	3.7
1910	58.86	2.7
1911	80.28	3.7
1912	100.67	4.6
1913	88.11	4.0
1914	84.29	3.8
1915	80.39	3.7
1916	102.42	4.6
1917	102.03	4.5
1918	80.93	3.6
1919	108.66	4.7
1920	99.85	4.3
1921	127.90	5.5
1922	97.25	4.1
1923	112.69	4.7
1924	115.15	4.9
1925	107.64	4.5
1926	110.66	4.7
1927	108.06	4.5
1928	121.50	5.1
1929	91.43	3.8
1930	110.16	4.6
1931	122.53	5.0
1932	138.18	5.5
1933	143.18	5.3
1934	194.52	6.8
1935	142.32	4.7
1936	172.75	5.6
1937	187.66	5.9
1938	35.57	1.5
1939	37.91	1.6
1940	98.40	3.5
1941	129.41	4.5
1942	128.69	4.4
1943	123.06	4.3
Promedio	103.09	4.22

Elaboración propia con base a (Comisión Nacional de Irrigación, 1945).

Lo cual se aprecia mejor en las gráficas 4.4 y 4.5.



Grafica 4.4. Comportamiento de los volúmenes de Huella Hídrica Verde en el periodo de 1900-1943. Río Bravo.



Grafica 4.5. Representación de la dispersión y simetría de los volúmenes de Huella Hídrica Verde en el periodo de 1900-1943. Río Bravo.

En la gráfica 4.4 se puede observar que los volúmenes de Huella Hídrica Verde no presentan variaciones significativas a lo largo de los años en la región del Río Conchos (salvo algunos años). Pues a diferencia de la Huella Hídrica Azul, la Huella Hídrica Verde proviene de una fuente que se podría considerar predecible y hasta cierto punto constante para una Región (lluvia).

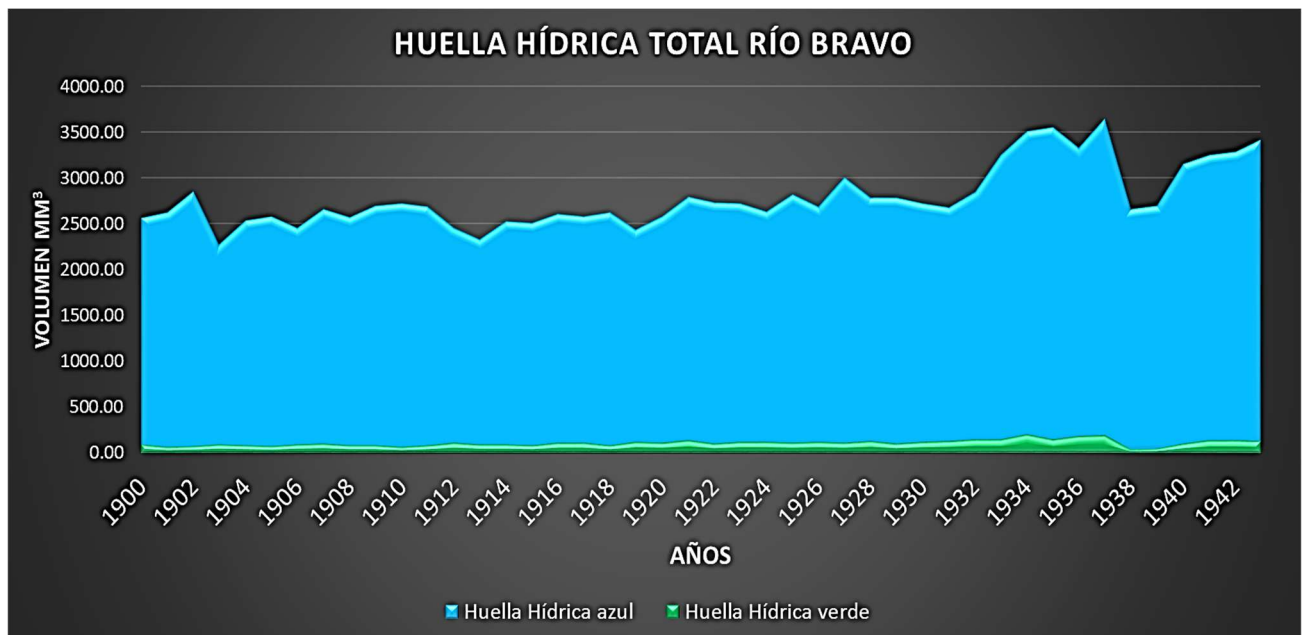
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

V.1 Comparativa de resultados de los distintos valores de Huella Hídrica.

De entrada, se hace necesario analizar los resultados referentes a Huella Hídrica Azul más Verde obtenida en el capítulo IV.1.5, pues es el total de agua que se emplea para las actividades agrícolas y donde se obtuvieron las laminas por cada uno de los cultivos en los diferentes Distritos de Riego o volúmenes de control que conforman la Región del Río Bravo.

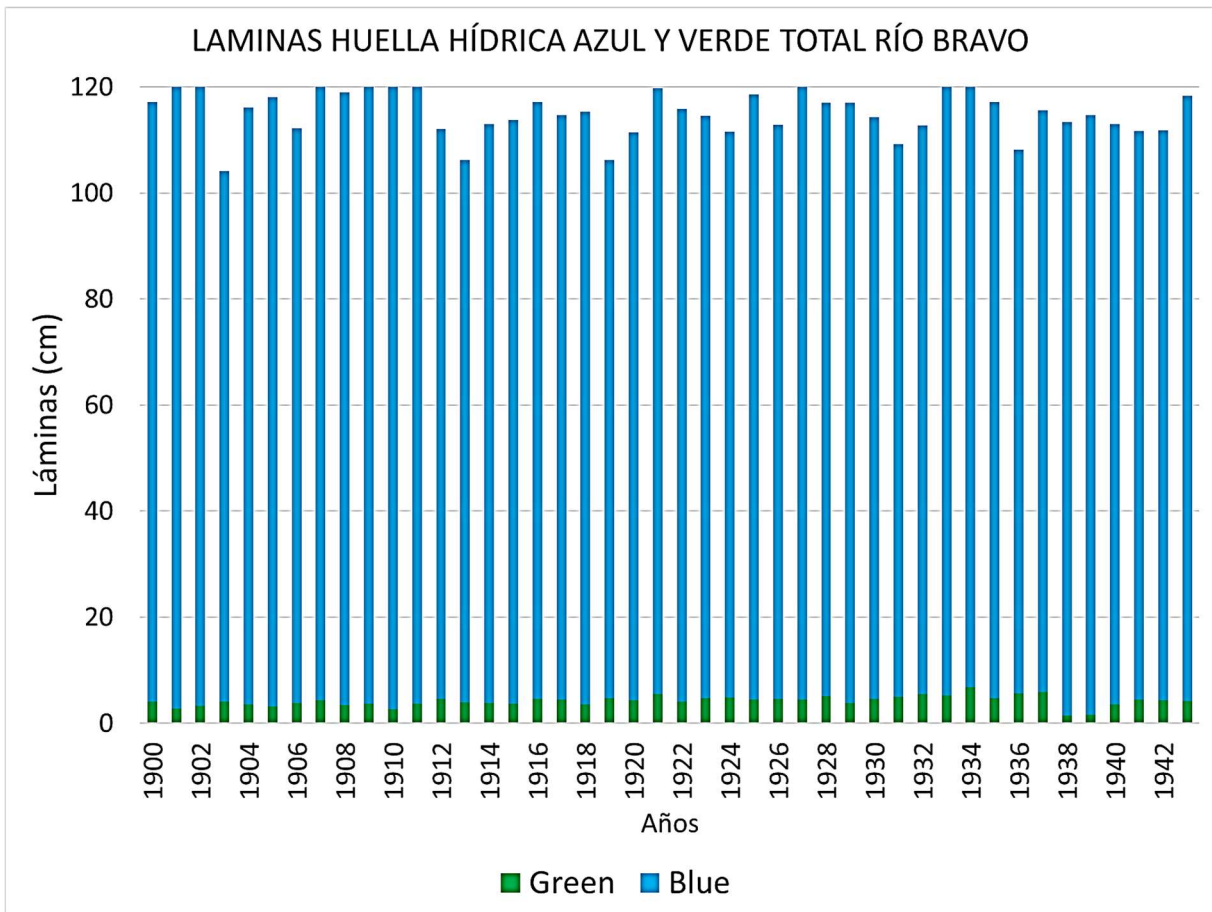
V.2 Interpretación de resultados.

En la gráfica 5.1 se representa de forma visual como se han distribuido los volúmenes de Huella Hídrica tanto azul como verde en el periodo de años comprendido de 1900 a 1943, grafica mediante la cual se puede apreciar que efectivamente los volúmenes de “Agua Azul” es la que se incrementa con el paso de los años, atribuible claro está a la expansión en las áreas parcelarias de los diferentes volúmenes de control que conforman la Región Hidrológico-Administrativa VI/Río Bravo. Lo que deja entre ver el crecimiento en la demanda de productos alimenticios en la región. Por su parte los volúmenes de Huella Hídrica Verde permanecen constantes con el paso de los años, pues la variable de precipitación no ha sufrido cambios significativos.



Gráfica 5.1. Representación de los volúmenes de Huella Hídrica Azul y Verde en el periodo de 1900-1943 para la región del Río Bravo.

Lo anteriormente explicado también se puede observar de manera más detallada en la gráfica 5.2. Considerada una de las gráficas más ilustrativas e importantes del trabajo. La importancia de la gráfica 5.2 radica en que, aunque la Huella Hídrica no se obtuvo en función de cultivos. Se obtuvo en función de parámetros como derivaciones y retornos, por tanto, sabemos que la Huella Hídrica azul (destinada para la irrigación) es la que se aprecia (por hectárea), así mismo sabemos que la Huella Hídrica Verde en promedio es la que se aprecia (por hectárea).



Gráfica 5.2. Representación de los volúmenes de Huella Hídrica Azul y Verde en el periodo de 1900-1943 para la región del Río Bravo. Forma 2.

Pese a ser una de las regiones con mayor déficit hídrico notamos el gran consumo del recurso, que como se observó en el capítulo IV.1.5 en muchas ocasiones se desarrollan cultivos con alta demanda y poco rendimiento.

Se hace urgente una revaloración donde intervengan los propios agricultores y en la medida de lo posible los tomadores de decisiones, esto para evitar que se sigan destinando grandes volúmenes de agua a cultivos altamente demandantes.

V.3 Correlación de valores de Huella Hídrica Azul y Verde obtenida por métodos distintos.

Cuando se aplica la metodología III.1 (para la obtención de HH Azul) desde la parte alta del Río Conchos hasta la parte baja del Río San Juan, en la mayor parte de los puntos de control donde se aplicaron los conceptos de eco-deficit e eco-surplus, se presentó en mayor medida el fenómeno de eco-deficit. Finalmente, realizando una resta entre el valor de caudal calculado promedio y el medido promedio, se pudo obtener el valor de Huella Hídrica Azul para todo el periodo de análisis, obteniéndose para el punto de San Pedro Roma un valor de 3,548 Mm³ para el periodo comprendido de 1900-1943, el cual al compararlo con el valor de Huella Hídrica Azul más verde promedio destinada a la agricultura del periodo de 2004-2017 igual a 1,804.92 Mm³ (obtenido con la metodología explicada en el capítulo IV.1.1). Esta diferencia tan marcada se justifica por la creación de las presas internacionales en la región, que dicho sea de paso nos ayudan a controlar el Río y a obtener derivaciones para la agricultura, además de que el volumen de 1,804.92 Mm³, solo representa el volumen destinado para ciertas actividades específicas.

Por lo antes mencionado, se recomienda para futuras investigaciones la necesidad de realizar el mismo análisis que se presenta en esta investigación, con la variante de considerar las presas internacionales (presa de La Amistad y Acuña Falcón).

CONCLUSIONES.

Con la realización de esta investigación, se pudo obtener la Huella Hídrica tanto azul como verde bajo diferentes perspectivas y bajo diferentes condiciones. En primera instancia, se obtuvo en lo relacionado a cultivos lo cual se puede considerar como una visión actual de este indicador, principalmente por el periodo de tiempo que se tomó (2004-2017). Y por otra parte se obtuvo este indicador para condiciones históricas (1900-1943), destacando la importancia que tienen los usos consuntivos dentro de su estimación y análisis.

Al obtener la Huella Hídrica de uso agrícola considerando las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego para condiciones actuales (2004-2017), nos percatamos que se cambia de forma radical de un año a otro el uso del suelo destinado a la siembra, es decir, en un año se siembran ciertos cultivos y al siguiente son cultivos completamente distintos, pues dependen de los subsidios que se den año con año, de igual forma tiene que ver el hecho que el total de las tierras esta concesionada a una cantidad reducida de agricultores (siendo ellos quienes rentan las tierras año con año).

Se observo en algunos años agrícolas y para algunos Distritos de Riego, un fenómeno extraño, y es que los volúmenes distribuidos fueron menores a los calculados (empleados directamente para la agricultura), entendiendo esta situación como falta de agua para satisfacer las actividades agrícolas. Este fenómeno se justifica porque en muchas ocasiones los agricultores se tienen que valer de otras fuentes como el agua subterránea, suplementando ese volumen faltante.

Con la realización de esta investigación pudimos observar aspectos de alto impacto para ser considerado por diferentes actores (sociedad, tomadores de decisiones, etc):

La alfalfa es uno de los cultivos donde la lámina no es menor de 90 a 100 cm, esto se solventa con la idea de que es uno de los principales alimentos del ganado y por lo general se refleja al saber que la huella hídrica de la carne es muy alta, es decir, observamos con esta investigación, que la huella hídrica en un sector (agrícola), puede impactar en otro sector (ganadero), o bien en otra cadena de producción de una manera considerable. Aunque ese punto es competencia de políticas públicas. Pues observamos que pese a contar con buena captación de agua en algunas regiones, esta se emplea en cultivos con alta demanda.

Concluyendo con esto que se debería preparar a los agricultores para optar por otros cultivos que sean más redituables ecológica y económicamente. Pues esto se podría considerar un claro ejemplo de supervivencia, ya que están gastando un volumen muy grande para alimentar al ganado.

De igual manera como lo hemos venido puntualizando, el requerimiento de agua por cultivo no varía mucho conforme pasan los años, lo que si cambia son las áreas destinadas a cada tipo de cultivo. Por tanto, las áreas en las zonas de cultivos, juegan un papel determinante en la estimación de este indicador.

Los rendimientos de los cultivos son los que cambian notablemente con el paso de los años, esto principalmente a que se han modificado los sistemas de irrigación. Caso particular tenemos el tomate, se sabe en función de literatura que se ha cambiado el tipo de riego, pasando de riego por surco a riego por cintillas (controlándose un poco el agua), y esto se ve reflejado en aproximadamente un 50% más en el rendimiento. Sabiendo de antemano que el riego por surco muy pocas veces cubre o llega a las raíces de las plantas, mientras que, por cintilla, se llega más directamente a las raíces de las plantas.

Finalmente, pudimos darnos cuenta de que la estimación de la HH de productos agrícolas a escala de Región Hidrológico-Administrativa es fundamental para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, y más importante aún al tratarse de una región transfronteriza, donde se comparte el agua con otro país. Consideramos que la forma en que se presentan los resultados de esta investigación es de fácil comprensión y permiten visualizar rápidamente el origen del agua (azul y verde).

Así mismo se logró una actividad algo complicada, que es comparar los cultivos más vulnerables a la disponibilidad hídrica, se detectaron posibles problemas potenciales que se tendrían que priorizar y lo más importante se comprendió el impacto que tiene al volumen del que dispone una región la elaboración de productos empleando gran cantidad de agua. Esperando que estas tablas y valores puedan ser utilizadas como punto de partida para analizar otras regiones hidrológico-administrativas, para con ello, establecer metas de mejoría en las eficiencias (problema que se puntualizó en esta investigación).



RECOMENDACIONES.

Una recomendación que se hace interesante para futuras investigaciones es realizar la comparación de estos volúmenes de Huella Hídrica, con otras partes del mundo, considerando los mismos cultivos, y ver que tanto varían estas en relación con nuestro país.

Esta investigación tiene la finalidad de concientizar a la sociedad sobre el gran volumen de agua que conlleva la realización de productos de tipo agrícola. Se propone como buena alternativa el poder implementar en los productos alguna etiqueta en el empaque, que nos informe precisamente cuánta agua conlleva un kilo de cierto alimento.

Finalmente se recomienda para futuras investigaciones la necesidad de realizar el mismo análisis que se presenta en esta investigación, con la variante de considerar las presas internacionales (presa de La Amistad y Acuña Falcón), para con ello tener un escenario aún más realista.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 1.- Aldaya Maite. (2012). Introducción a la Evaluación de la Huella Hídrica. Seminario Internacional: Información Estadística y Geográfica para el Mejor Manejo del Agua en México, INEGI-UAM, Ciudad de México, Marzo 2012.
- 2.- Aparicio, F. J. (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. Ciudad de México: Limusa.
- 3.- Arévalo, D., Lozano, J. y Sabogal, J., Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola (National Study of Water Footprint Agricultural Sector in Colombia), Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, Colombia, 2013.
- 4.- ARREGUÍN, F. El uso eficiente del agua y la tecnología. Ingeniería hidráulica en México. Vol. XII, núm. 1, enero-abril de 1997, pp. 91-98.
- 5.- Berenson, M. L. (2006). Estadística para administración. Pearson Educación.
- 6.- Chávez Cortés, M. M. y Binnqüist Cervantes, G. S. (2012), La huella hídrica agrícola en los Valles de Etna, Zimatlán y Tlacolula, Oaxaca, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México, 2012.
- 7.- Chapagain, A. K. and Hoekstra A. Y. (2004), Water Footprints of Nations, Volume 1: Main Report, Value of Water, Research Report Series No. 16, noviembre, UNESCO-IHE Delft, Netherlands, 2004. En <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16.pdf>
- 8.- Comisión Nacional de Irrigación. (1945). Irrigación en México. Ciudad de México.
- 9.- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. (2016). Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Año Agrícola 2015-2016. 380 p.
- 10.- CONAGUA. (Agosto de 2013). REGIONALIZACIÓN DE DATOS DE ESCURRIMIENTO DE LAS REGIONES HIDROLÓGICAS DE MÉXICO PARA LA ESTIMACIÓN DE AVENIDAS DE DISEÑO. Obtenido de REGIONALIZACIÓN DE DATOS DE ESCURRIMIENTO DE LAS REGIONES HIDROLÓGICAS DE MÉXICO PARA LA ESTIMACIÓN DE AVENIDAS DE DISEÑO: http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/proy_cuencas/guzman_humberto.pdf
- 11.- CONAGUA. (2012). Regiones Hidrológicas. Obtenido de Regiones Hidrológicas: http://www.conagua.gob.mx/atlas/mapa/09/index_svg.html
- 12.- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. (2000). Programa Hidráulico de Gran Visión 2001 – 2025 de la Región VI, Río Bravo. Gerencia Regional Río Bravo. 312 p.
- 13.- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. (1998). Lineamientos estratégicos para el desarrollo hidráulico de las Regiones Hidrológicas río bravo y cuencas cerradas del norte, pertenecientes a la Región VI, Río Bravo. CONTRATO SGP – GRN – RB – 98 –01 IR. Sistemas Hidráulicos y Ambientales, S.A. de C.V. 55 p.
- 14.- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. (1997). Diagnóstico de la Región VI frontera norte (Volumen 1). CONSULTORES EN INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS, S. A. DE C. V. 428 p.



- 15.- Cortés, F. A., Pérez, M. L., Mogollón, H. M., & González, C. T. (2007). Agua Virtual en México. 22, 12.
- 16.- CTA, Guía metodológica de aplicación de huella hídrica en cuenca, Arévalo Uribe, Diego y Claudia Campuzano (Eds.), Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, Medellín, Colombia, Cosude, 2013a, Retrieved from http://www.suizaguacolombia.net/es/Inicio/media/GUIA_METODOLOGICA_HHCuenca.pdf
- 17.- Eduardo Cravioto, R. L. (1944). Esguerrimiento Mensual del Río Bravo desde 1900 a 1943, Fort Quitman a San Pedro de Roma. El Paso, Texas: Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y los Estados Unidos.
- 18.- Escorcía, Y. G. (01 de Diciembre de 2016). Determinación del caudal natural en la cuenca transfronteriza del Río Bravo/Grande. Ciudad de México, México .
- 19.- Espejo, R. P. (2013). LA EXPERIENCIA MEXICANA EN LA ESTIMACIÓN DE HUELLA HÍDRICA Y AGUA VIRTUAL. FORO HUELLA HÍDRICA (pág. 19). México: IICA.
- 20.- FAO. (2006). Estudio FAO. Riego y Drenaje No. 56. Roma: FAO.
- 21.- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Roma: FAO. |
- 22.- G., E. C. (1946). Runoff of the Conchos River at Ojinaga under present and future conditions. Ciudad Juárez, Chihuahua.
- 23.- Google Earth. (s.f.). Recuperado el 05 de 06 de 2017, de <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- 24.- Google Earth. (14 de Enero de 2015). Google Earth. Recuperado el 25 de Mayo de 2017, de [Google Earth: http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/EstacionesClimatologicas.kmz](http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/EstacionesClimatologicas.kmz)
- 25.- Gordon, P. L., Evaluación de la Huella Hídrica en la cuenca del río Ayuquila en Jalisco, México, tesis de maestría, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, División de Desarrollo Regional, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, 2015.
- 26.- Hoekstra A., Mekonnen M. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. Department of Water Engineering and Management, University of Twente. Ecosystems. 415 p.
- 27.- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K. and Aldaya, M .M and Mekonnen, M. M., The Water Footprint Assessment Manual, Settings the Global Standard, Earthscan Publishing for a Sustainable Future, London, Washington, DC, 2011.
- 28.- Hoekstra A. (2009). The water footprint of humanity. Water Footprint Network. 44 p.
- 29.- IMTA. (01 de 11 de 2013). Programa Nacional Contra Contingencias. México.
- 30.- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. (01 de 01 de 2016). Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Recuperado el 18 de 11 de 2017, de <http://www.edistritos.com/DR/estadisticaHidrometrica/distrito.php>



- 31.- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (01 de 01 de 2013). Manejo y distribución del agua en distritos de riego. Recuperado el 2017 de 11 de 20, de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/manejo-dadr/files/assets/basic-html/page11.html
- 32.- Jensen, R. (2006). The influence of human activities on the waters of the Pecos Basin of Texas. Texas. U.S.A: Texas Water Resources Institute.
- 33.- López A. (2014). Construcción del desabasto de agua en una zona periurbana: Una propuesta de educación ambiental para San Nicolás Totolapan, Delegación Magdalena Contreras. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Colegio de Ciencias y Humanidades. Tesis para obtener el grado de Maestría en Educación Ambiental. 336 p.
- 34.- Mekonnen, M. M. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 20.
- 35.- Oregon State University. (10 de Julio de 2018). PRISM Climate Data. Obtenido de PRISM Climate Data: <http://www.prism.oregonstate.edu/>
- 36.- Pérez Arcos, S. I., Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador, proyecto especial de graduación del Programa de Ingeniería en Administración de Agronegocios, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 2012, 55 pp.
- 37.- Pérez Rosario. (2013). La experiencia mexicana en la estimación de huella hídrica y agua virtual. Foro Huella Hídrica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Mayo 2013. 19 p.
- 38.- Ríos Flores, J. L., Torres Moreno, M., Castro Franco, R., Torres Moreno, M. A., Ruiz Torres, J., Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México, tomo 47, No. 1, 2015. *Rev. FCA UNCUYO*, 47(1): 93-107.
- 39.- Ríos Flores, J. L., Torres Moreno, M., Castro Franco, R., Torres Moreno, M. A., Ruiz Torres, J., Huella hídrica azul del tomate rojo en el distrito de riego 017, Comarca Lagunera, 2014.
- 40.- Rodríguez Casado, R., y Garrido, A. y Llamas, M. R. y Varela-Ortega, C., La huella hidrológica de la agricultura española, Papeles de Agua Virtual, Fundación Marcelino Botín, Pedrueca, 1 (Santander), 2008.
- 41.- Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya, M. M., Rodríguez-Casado, R., Garrido, A., Llamas, M. R., Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir, Fundación Marcelo Botín, Observatorio del Agua, No. 3, Pedrueca, (Santander), 2011.
- 42.- Sandoval, D. S. (12 de 09 de 2016). Situación actual sobre la Huella Hídrica en México. (J. L. Rasgado, Entrevistador).
- 43.- SEDESOL. Secretaría de Desarrollo Social. (1990). Proyecto de ordenamiento ecológico de la región fronteriza norte. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Planeación Ecológica. 394 p.
- 44.- SEMARNAT. (2017). Huella Hídrica en México, análisis y perspectivas. Jiutepec, Morelos: Coordinación de Comunicación, Participación e información.



- 45.- SEMARNAT. (01 de Enero de 2012). Programa Hídrico Regional visión 2030.
- 46.- SEMARNAT. (01 de Diciembre de 2010). Las cuencas hidrográficas de México . México.
- 47.- Servicio Meteorológico Nacional. (2013). Servicio Meteorológico Nacional. Obtenido de Servicio Meteorológico Nacional: <http://smn.cna.gob.mx/>
- 48.- Servicio Meteorológico Nacional. (2010). Estaciones Meteorológicas Automáticas. Recuperado el 12 de Mayo de 2018, de EMAS: <http://smn.cna.gob.mx/es/pronosticos/8-smn-general/38-estaciones-meteorologicas-automaticas-emas>
- 49.- SIATL. (23 de Mayo de 2017). SIATL. Obtenido de SIATL: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#
- 50.- SIATL. (30 de OCTUBRE de 2015). SIATL. Obtenido de SIATL: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#
- 51.- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo. 229 p.
- 52.- Trava Manzanilla, JL. Jesús Román Calleros, Francisco A. Bernal R. (1991). Manejo ambientalmente adecuado del agua en la frontera México-Estados Unidos. El Colegio de la Frontera Norte. 265 p.
- 53.- Universidad de California, Davis. (25 de Enero de 2011). Penman-Monteith Equation Derivation. Recuperado el 2017 de Julio de 19, de Penman-Monteith Equation Derivation: <http://biomet.ucdavis.edu/Evapotranspiration/PMDerivation/PMD.htm>
- 54.- WWF México. (2012). Huella Hídrica en México en el contexto de Norteamérica. Ciudad de México.