



**Universidad Michoacana de
San Nicolás de Hidalgo**
Facultad de Economía "Vasco de Quiroga"
División de Estudios de Posgrado

T E S I S

Evaluación de la huella hídrica en la producción de aguacate y fresa en municipios de la Subcuenca de Coitzio. Un análisis de vulnerabilidad hídrica.

P R E S E N T A

M.C. Diana Janeth Fuerte Velázquez

Para obtener el grado de

Doctora en Ciencias en Desarrollo Sustentable

Director de Tesis

Dra. Hilda R. Guerrero García Rojas

Codirector de Tesis

Dr. Luis Alberto Seguí Amórtegui

Morelia, Michoacán, Enero 2022



Dedicatoria

Una cuartilla no alcanza para enlistar a todos aquellos familiares, amigos, maestros, compañeros y conocidos que se han cruzado en mi vida y que de una u otra forma me han ayudado a materializar esta investigación, gracias por su tiempo, paciencia y enseñanzas compartidas con mi persona, este estudio es por y para ustedes.

Agradecimientos

Primero quiero premiar a mi persona por el esfuerzo y la paciencia para culminar esta investigación.

A mi madre ya que sin su apoyo y entusiasmo este sueño no habría sido posible, además de que es mi ejemplo por seguir.

En este camino me llego un pequeño ángel a mi vida y es mi hija Luisa Fenarda, gracias mi niña por esperar a tu mama mientras ella tenía que dejar su rol de mama para hacer sus funciones de estudiante.

Doy gracias a mi esposo Jose Romero por su paciencia y animo que tuvo con mi persona en este proceso académico.

Siguiendo mi círculo familiar no dejo de nombrar a mi hermana Yesenia, agradezco mucho su tiempo compartido conmigo para apoyarme en ocasiones asumiendo el rol de tía mama, en otras para funciones académicas y otras solo para apapachar.

Reconozco el tiempo, esfuerzo, dedicación y reflexiones de la Dra. Hilda R. Guerrero García, quien me guio en estos cuatro años como profesora y como directora de esta investigación, gracias por todos sus consejos y aprendizajes.

En este proceso de formación agradezco al Dr. Alberto Gómez Tagle Chávez por su apoyo en el parte metodológico y a su vez reconozco las reflexiones y preocupaciones por el tema que me alienta a continuar.

Agradezco a los demás miembros de la mesa sinodal por compartir su tiempo, conocimiento y observaciones:

Dr. Luis Alberto Seguí Amórtegui, profesor de la Facultad de Empresas y Comunicación, Universidad Internacional de la Rioja.

Dr. Salvador García Espinosa, Profesor Investigador de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Dra. Katia Beatriz Villafan Vidales, Profesora Investigadora de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

A mis profesores que me acompañaron a lo largo del posgrado: Dra. Rosalía Paniagua, Dr. René Colín, Dr. Adolfo Lizárraga Gómez, Dr. Rodrigo Gómez Monge, Dr. Jorge Martínez Aparicio, Dra. Josefina Cendejas Guízar.

Agradezco a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por facilitarme los medios para poder realizar el Doctorado en Desarrollo Sustentable.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado la beca de doctorado en la UMSNH.

Resumen

El agua es un recurso natural consumido por la sociedad, y por los ecosistemas, sin embargo, en ambos casos es usada y apropiada de diferente manera; para los ecosistemas el agua es un soporte para su funcionamiento y reproducción, para la parte social es un recurso ya que proporciona un cierto beneficio, ello radica que su suministro esté relacionado con diversas funciones sociales como el uso del agua en el sector agrícola, se estima que este es el que mayor presión ejerce sobre el uso del agua apropiándose de más del 70% de las extracciones de agua dulce. La presente investigación hace uso de la huella y el estrés hídricos aplicada a la agricultura intensiva en la producción de aguacate y fresa en municipios de la Subcuenca de Cointzio. La contabilidad de agua se determina con el método volumétrico de la huella hídrica apoyándose en el programa CROPWAT 8.0 y para determinar el grado de vulnerabilidad se hace uso del volumen de agua concesionada establecido en el Registro de Propiedad de Agua (REPDA). Al estimar la huella hídrica de los cultivos, se determinó en promedio un consumo de 872.83 Lts por cada kilogramo producido de **aguacate** para la modalidad de temporal y 1,603.69 Lts para la modalidad de riego, mientras que, para el caso de la producción de **fresa**, el consumo promedio fue de 351.90 Lts por cada kilogramo de los cuales 188.85 Lts provienen del flujo de agua verde y 162.95 Lts del flujo azul. Concluyendo, entre otros resultados, que la producción agrícola intensiva, explota los recursos naturales y causa vulnerabilidad hídrica, debido al desmedido consumo de agua azul no concesionada en los municipios estudiados, situación que lleva a una fractura entre los ritmos naturales de producción de agua y los de apropiación humana entre el agua y este tipo de agricultura.

Palabras clave: huella hídrica agrícola, estrés hídrico agrícola, aguacate, fresa, CROPWAT, Subcuenca Cointzio.

Abstract

Water is a natural resource consumed by society, and by ecosystems, however, in both cases it is used and appropriated in different ways; for ecosystems water is a support for their functioning and reproduction, for the social part it is a resource since it provides a certain benefit, this lies in the fact that its supply is related to various social functions such as the use of water in the agricultural sector, it is estimated that this is the one that exerts the greatest pressure on the use of water appropriating more than 70% of freshwater extractions. The present research makes use of the footprint and water stress applied to intensive agriculture in the production of avocado and strawberry in municipalities of the micro-bassin Cointzio. The water accounting is determined with the volumetric method of the water footprint based on the CROPWAT 8.0 program and to determine the degree of vulnerability the volume of concessioned water established in the Water Property Registry (REPDA) is used. When estimating the water footprint of the crops, an average consumption of 872.83 Lts was determined for each kilogram produced of **avocado** for the temporary modality and 1,603.69 Lts for the irrigation modality, while, in the case of **strawberry** production, the average consumption was 351.90 Lts for each kilogram of which 188.85 Lts come from the flow of green water and 162.95 Lts from the blue Flow. Concluding, among other results, that intensive agricultural production exploits natural resources and causes water vulnerability, due to the excessive consumption of unmanaged blue water in the municipalities studied, a situation that leads to a fracture between the natural rhythms of water production and those of human appropriation between water and this type of agriculture.

Keyword: agricultural water footprint, agricultural water stress, avocado, strawberry, CROPWAT, micro-bassin Cointzio.

Índice de contenido

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Introducción	1
Capítulo I. Marco conceptual.....	6
1.1 Estudios de la huella y el estrés hídricos a diferentes escalas geográficas	8
1.2 El marco de la sustentabilidad.....	18
1.3 La perspectiva de la economía ecológica: categoría para el estudio de los flujos de agua	27
1.4 Análisis de la producción agrícola intensiva de aguacate y fresa	32
1.4.1 Panorama de la producción de fresa y aguacate en México	33
1.4.2 La expansión de aguacate Michoacán	38
1.4.3 La expansión de la fresa en Michoacán	43
Capítulo II Marco metodológico: la vulnerabilidad hídrica y su evaluación con la huella hídrica	49
2.1 La relación agua-agricultura intensiva en el contexto de la cuenca hidrológica	51
2.2 La vulnerabilidad hídrica como consecuencia	59
2.2.1 Origen y concepto de vulnerabilidad hídrica	60
2.2.2 Los ODS como un marco para contrarrestar la vulnerabilidad hídrica.....	62
2.3 Metodología: la huella hídrica agrícola y el estrés hídrico.....	64
2.3.1 El método volumétrico para estimar la huella hídrica	66
2.3.2 Modelo CROPWAT 8.0 para estimar la evapotranspiración de agua verde y azul de los cultivos (ETc).....	70
2.3.3 Estimación del requerimiento de agua del cultivo (RAC).....	72
2.3.4 Cálculo de la huella hídrica agrícola azul y verde	73

2.3.5 El índice de estrés hídrico (WSI) como herramienta para evaluar la vulnerabilidad	75
2.3.5.1 La sostenibilidad de la huella hídrica azul agrícola.....	78
Capítulo III. Análisis socioeconómico y ambiental de la zona de estudio	80
3.1 Ubicación geográfica.....	80
3.2 Uso de suelo y vegetación.....	84
3.3 Aprovechamiento de agua en los municipios objeto de estudio	89
3.4 Principales actividades agrícolas y valor de la producción en el área de estudio.	91
Capítulo IV. El estudio de la huella hídrica del aguacate y fresa en municipios de la subcuenca de Cointzio	96
4.1 El programa CROPWAT.....	97
4.2 La huella hídrica del aguacate en Acuitzio.....	103
4.3 La huella hídrica del aguacate y la fresa en Morelia	110
4.4 La huella hídrica del aguacate y la fresa en Huiramba.....	117
4.5 La huella hídrica del aguacate y la fresa en Lagunillas	123
Capítulo V. Análisis y discusión de la sostenibilidad del uso del agua en la agricultura ..	127
5.1 Comparando la magnitud del uso de agua directo	128
5.2 Productividad económica hídrica de la fresa y el aguacate	135
5.3 La vulnerabilidad hídrica por la apropiación de agua azul para los cultivos de aguacate y la fresa.....	139
Conclusión	147
Bibliografía	150

Índice de cuadros

Cuadro 1.1. Información general de la búsqueda en la Web Of Science	11
Cuadro 1.2. Estudios sobre la evaluación de la huella hídrica y el agua virtual.....	15
Cuadro 1.3. Tipología del pensamiento ambientalista de los niveles de sustentabilidad...	26
Cuadro 1.4. Exportaciones de aguacate en EUA provenientes de Michoacán	41
Cuadro 1.5. Municipios de Michoacán con mayor volumen de producción y valor de producción de aguacate en el año de 2018.....	42
Cuadro 2.1. Racionalidades contrastantes en el modo de producción del pequeño agricultor y del sistema agrícola moderno	54
Cuadro 2.2. Indicadores para evaluar el estrés hídrico bajo el esquema de Gleick.....	76
Cuadro 2.3. Criterios de clasificación para evaluar el estrés hídrico en los municipios de estudio de la Subcuenca de Coitzio.....	77
Cuadro 3.1. Población total por municipio estudiado	83
Cuadro 3.2. Servicios en vivienda por municipio estudiado.....	84
Cuadro. 3.3. Principales cultivos de los municipios de estudio en el 2018.....	93
Cuadro 4.1. Estaciones de medición en el polígono de estudio	100
Cuadro 4.2. Datos de entrada del cultivo y de suelo para el análisis del requerimiento de agua del cultivo de aguacate.....	102
Cuadro 4.3. Datos de entrada del cultivo y de suelo para el análisis del requerimiento de agua del cultivo de fresa	102
Cuadro 4.4. Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva para los años 2012 a 2017 en el municipio de Acuitzio.	106
Cuadro 4.5. Huella hídrica del cultivo de aguacate en el municipio de Acuitzio.....	107
Cuadro 4.6. Huella hídrica agregada de uso directo agregada para un año agrícola del cultivo de aguacate en el periodo de 2012 a 2017 en el municipio de Acuitzio	108
Cuadro 4.7. Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), precipitación total y requerimiento de riego para los años 2016 a 2020 en el municipio de Morelia	111

Cuadro 4.8. Huella hídrica del cultivo de aguacate en el municipio de Morelia	112
Cuadro 4.9. Huella hídrica agregada de uso directo agregada para un año agrícola del cultivo de aguacate en el periodo de 2012 a 2017 en el municipio de Morelia	113
Cuadro 4.10. Evapotranspiración del cultivo de fresa (ETc), precipitación, requerimiento de riego y precipitación efectiva para los años 2016 a 2020 en el municipio de Morelia	115
Cuadro 4.11. Huella hídrica del agua verde y azul de la fresa en el municipio de Morelia	116
Cuadro 4.12. Huella hídrica agregada de uso directo agregada para un año agrícola del cultivo de fresa en el periodo de 2016 a 2020 en el municipio de Morelia	116
Cuadro 4.13. Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), precipitación efectiva y requerimiento de riego para los años 2012 a 2017 en el municipio de Huiramba.....	119
Cuadro 4.14. Huella hídrica del cultivo de aguacate en el municipio de Huiramba.....	119
Cuadro 4.15. Huella hídrica agregada de uso directo verde y azul del aguacate en el municipio de Huiramba del periodo de 2012 a 2017	120
Cuadro 4.16. Evapotranspiración del cultivo de fresa (ETc), precipitación total y requerimiento de riego para los años 2015 a 2017 en el municipio de Huiramba.....	122
Cuadro 4.17. Huella hídrica del cultivo de fresa en el municipio de Huiramba	122
Cuadro 4.18. Huella hídrica agregada de uso directo verde y azul de la fresa en el municipio de Huiramba	123
Cuadro 4.19. Evapotranspiración del cultivo de fresa (ETc), precipitación total y requerimiento de riego para los años 2015 a 2017 en el municipio de Lagunillas	124
Cuadro 4.20 Huella hídrica del cultivo de fresa del periodo de 2015 a 2016 en el municipio de Lagunillas.....	125
Cuadro 5.1. Consumo neto de agua del cultivo de aguacate en los municipios de estudio de la Subcuenca de Cointzio.....	130
Cuadro 5.2. La productividad económica hídrica azul del cultivo de aguacate en los municipios estudiados de la Subcuenca de Cointzio	136
Cuadro 5.3. La productividad económica hídrica verde del cultivo de aguacate en los municipios estudiados de la Subcuenca de Cointzio.	137

Cuadro 5.4. La productividad económica hídrica azul del cultivo de fresa en los municipios estudiados de la Subcuenca de Cointzio.....	138
Cuadro 5.5. La productividad económica hídrica verde del cultivo de fresa en los municipios estudiados de la Subcuenca de Cointzio.....	139
Cuadro 5.6. Evaluación del grado de apropiación de agua azul no concesionada por el cultivo de aguacate en el municipio de Acuitzio del periodo de 2012 a 2017.....	141
Cuadro 5.7. Evaluación del grado de apropiación de agua azul no concesionada en el municipio de Morelia del periodo de 2016 a 2020.....	142
Cuadro 5. 8. Evaluación del grado de apropiación de agua azul no concesionada en el municipio de Huiramba del periodo de 2012 a 2017	143
Cuadro 5.9. Evaluación del grado de apropiación de agua azul no concesionada en el municipio de Lagunillas del periodo de 2015 a 2017	144

Índice de figuras

Figura 1.1. Tendencia de crecimiento de las referencias citadas de: "agricultural water footprint" or "virtual water trade" and "water stress "OR "water scarcity" and "cropwat model"	12
Figura 1.2. Autores con mayor número de referencias citadas en el tema de la huella hídrica en las últimas tres décadas.....	13
Figura 1.3. Países con mayor producción científica en el tema de la huella hídrica	14
Figura 1.4. Esquema de la posición antropocéntrica a ultranza de la sustentabilidad débil	24
Figura 1.5. Indicadores de sustentabilidad dentro del marco de la economía ecológica ...	31
Figura 1.6. Tendencia de crecimiento de superficie sembrada (ha) de aguacate en México	33
Figura 1.7. Tendencia de crecimiento de la producción del cultivo de aguacate en México	34
Figura 1.8. Porcentaje de siembra de los Estados con mayor superficie de aguacate en México.....	35
Figura 1.9. Tendencia de crecimiento de superficie sembrada (ha) de fresa en México ...	36
Figura 1.10. Tendencia de crecimiento de la producción de fresa en México.....	37
Figura 1.11. La producción y su fluctuación del valor de producción de aguacate en las últimas tres décadas en Michoacán.....	40
Figura 1.12. Fluctuaciones de la producción y el valor en los mercados de fresa en los últimos treinta años	45
Figura 1.13. Comparación del valor de producción de cultivos agrícolas tradicionales y cultivos de la agricultura intensiva "aguacate y fresa" en Michoacán año 2020.....	47
Figura 2.1 Países con mayor extracción de agua per cápita	50
Figura 2.2. Representación de la organización del flujo del agua por el sistema natural y social.....	57

Figura 2.3. Requerimiento de datos para las diferentes perspectivas para estimar la huella hídrica y el agua virtual en la agricultura.	68
Figura 2.4. Diagrama de la metodología de la huella y el estrés hídricos	69
Figura 3.1. Localización geográfica de la Subcuenca de Cointzio y los municipios de estudio	81
Figura 3.2. Rango de población por municipio	83
Figura 3.3. Cobertura de uso de suelo y vegetación, 2016. Subcuenca de Cointzio	86
Figura 3.4. Porcentaje de la Superficie de uso de suelo y vegetación por tipo de cobertura en los municipios de Acuitzio del Canje, Huiramba, Lagunillas y Morelia.	87
Figura 3.5. Tipo de textura de suelo en los municipios de estudio	89
Figura 3.6. Volumen de agua concesionados de acuerdo con sus usos en los municipios objeto de estudio	90
Figura. 3.7. Porcentaje de los volúmenes de agua superficial y subterránea concesionada en el área de estudio.....	91
Figura 3.8. Comparación porcentual del valor de producción de los cultivos tradicionales y los de la agricultura intensiva de los municipios de estudio en el año de 2020	92
Figura. 3.9. Superficie sembrada de cultivos tradicionales e intensivos en los municipios de la zona de estudio en el periodo de 2006-2020.....	95
Figura 4.1 Variable climatológicas que alimentan al CROPWAT 8.0	98
Figura 4.2. Precipitación pluvial promedio.....	99
Figura 4.3. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la Subcuenca de Cointzio... ..	100
Figura 4.4 Regresión lineal para determinar la temperatura máxima en los municipios de Huiramba y Lagunillas en el mes de enero de 2012	101
Figura 4.5 Requerimiento de agua del cultivo	103
Figura 4.6. Evapotranspiración de referencia mensual promedio del municipio de Acuitzio del periodo 2012 a 2017.....	104
Figura 4.7 Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), precipitación total, requerimiento de riego y precipitación efectiva para los años 2012 a 2017 en el municipio de Acuitzio	105

Figura 4.8. Huella hídrica agregada de uso directo agregada para un año agrícola del cultivo de aguacate en el periodo de 2012 a 2017 en el municipio de Acuitzio	109
Figura 4.9. Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), precipitación total, requerimiento de riego y precipitación efectiva para los años 2016 a 2020 en el municipio de Morelia	111
Figura 4.10. Huella hídrica agregada de uso directo agregada para un año agrícola del cultivo de aguacate en el periodo de 2012 a 2017 en el municipio de Morelia	114
Figura 4.11. La huella hídrica agregada azul y verde del cultivo de Fresa en el municipio de Morelia del 2016 a 2020	117
Figura 4.12. Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), precipitación total, requerimiento de riego y precipitación efectiva para los años 2012 a 2017 en el municipio de Huiramba	118
Figura 4.13. La huella hídrica de uso directo agregada azul y verde del cultivo de aguacate en Huiramba del 2012 a 2017	121
Figura 4.14. La huella hídrica de uso directo agregada azul y verde del cultivo de fresa en Lagunillas del 2015 a 2017	125
Figura. 5.1. Porcentaje de apropiación de agua verde y azul por parte de los cultivos de aguacate y fresa en los municipios estudiados	132
Figura 5.2. Comparación del porcentaje del promedio global de HH del cultivo de aguacate contra los principales países productores y los municipios estudiados	133
Figura 5.3. Comparación del porcentaje del promedio global de HH del cultivo de fresa contra los principales países productores y los municipios estudiados	135
Figura 5.4. Volúmenes de apropiación de agua verde por el cultivo de aguacate y fresa en los municipios de la Subcuenca de Cointzio estudiados	145

Introducción

El agua es un recurso natural de los más importantes, cumple tanto funciones sociales como ecosistémicas necesarias para sostenerse la vida. En la actualidad este recurso está en disputa a causa de un aumento en la demanda por parte de los usos consuntivos principalmente el agrícola. Según, Shiklomanov (2000), el sector agrícola mundial representa casi el 85% del consumo mundial de agua azul. El modelo de agricultura al que se hace referencia ha sido objeto de transformación por el desarrollo de la modernidad, se dispersa de norte a sur como medida de progreso y desarrollo para los países, fijando su foco de atención en los países subdesarrollados, los cuales representan un potencial para incluirlos en el modelo capitalista del siglo; promoviendo su inclusión mediante los diversos discursos gubernamentales. La reconfiguración agrícola, ha llevado a que los recursos naturales como el agua se politicen fuertemente y se gestionen bajo un modelo político particular en donde prevalece la ideología neoliberal radical; dirigida a la privatización del recurso por parte de un grupo minoritario que controla el agua a través de diversos medios de poder económico y político (Budds, 2004).

En México, desde hace varios años se ha venido desarrollando una serie de estrategias en el sector agrícola encaminadas a reconfigurar esta actividad económica, para pasar de una producción agrícola tradicional o pequeña a una intensiva, y es que la pauta ha sido producir lo que el mercado internacional demande, principalmente insumos con un alto valor agregado que, en general, demandan grandes volúmenes de agua en sus etapas de crecimiento.

En esta lógica, encontramos a los frutos de aguacate y fresa, los cuales se han posicionado como uno de los principales cultivos agrícolas en el país. El estado con

mayor reconversión de tierras de estos productos es Michoacán, en el caso del aguacate la rentabilidad hizo que su producción aumentara rápidamente, en cuatro décadas pasando de 30,979 (ha) sembradas con una producción de 141,221 y valor de producción de 1, 553,430 en 1980, a 169,939.45 (ha) con una producción de 1,800,021.42 (ton) y valor de producción de 39,623,434,780.00 pesos en 2020, esto significa que en 40 años la tasa de crecimiento del cultivo de aguacate fue de 449%. En el caso de la fresa sigue la misma tendencia que el aguacate, ya que, en la década de los ochenta del siglo pasado, la superficie sembrada de fresa representaba 3,768 (ha) con un volumen de 57,117 (ton) y un valor de producción de 393,170 comparadas con las 7,388.17 (ha) con un volumen de 329,183.51 (ton) con un valor de producción de 5,873,263,133 pesos en el año 2020, lo que significa que la tasa de crecimiento en cuatro décadas fue de 96% de la producción de fresa en Michoacán (SIAP,2020).

En la Subcuenca de Cointzio, localizada en la región hidrológica de la cuenca Lerma-Chapala, se presenta una situación muy particular generada por el consumo desmedido de agua azul por parte de los cultivos de aguacate y fresa, escenario que está ocasionando una problemática ambiental latente, ya que el desfogue de la Subcuenca es controlado por la presa de Cointzio, la cual abastece de agua para consumo humano y actividades domésticas a la ciudad de Morelia y comunidades aledañas, de acuerdo con estadísticas de la CONAGUA la capacidad de extracción de agua asignado es un 23% para el uso urbano y el resto al agrícola. En la última década este cuerpo de agua está siendo asfixiada por la contaminación; causado principalmente por la deforestación, descargas de aguas residuales sin tratamiento, escurrimientos de residuos químicos de la agricultura, y es aquí donde hablamos de la agricultura intensiva que ha invadido el territorio mencionado con aguacate y fresa, lo cual ha convertido a la presa en un embalse completamente infestado de Lirio y todo tipo de maleza acuática (Molina, 2018).

Ante este escenario, la presente investigación, tuvo como objetivo general determinar el grado vulnerabilidad hídrica en municipios de la Subcuenca de Cointzio por los cultivos de aguacate y fresa. Para cumplir el objetivo general, se

plantearon los siguientes objetivos específicos: determinar el consumo directo de agua azul y verde de los cultivos de aguacate y fresa, determinar la productividad por unidad de agua usada en la producción de aguacate y fresa y, evaluar el grado de estrés hídrico en los municipios de la zona de estudio.

Asimismo, se planteó como hipótesis que *“La producción de aguacate y fresa genera vulnerabilidad hídrica a causa de la apropiación de agua azul en los municipios de Acuitzio, Morelia, Huiramba y Lagunillas en el periodo 2012 a 2020”* lo que ocasiona una insuficiencia para hacer frente, en el presente y futuro, a las necesidades de agua no solo para este sector, sino para las demás funciones sociales que demandan agua.

En el presente estudio se trabaja con punto de interés la huella hídrica verde y azul, enfocando la investigación en el uso de agua directamente apropiada por la actividad agrícola del aguacate y fresa, descarta la contabilidad de la huella hídrica gris, que es el volumen de carga contaminante que este genera, ya que la atención primordial se centra en saber cuánta agua dulce se está demandando por este sector para saber determinar si la oferta es deficitaria o viceversa.

Para entender el fenómeno antes citado esta investigación se apoya ayuda en una serie de categorías teóricas para su análisis, la primera es la noción de huella hídrica, la cual permitió cuantificar los flujos de agua azul y verde, que se entiende como la cantidad de agua consumida por una unidad específica de estudio de una sociedad o economía en dos dimensiones: la primera, flujos internos refiriendo a los flujos que tienen lugar entre una economía y el sistema hídrico del territorio donde ésta se aloja y la segunda, los flujos externos, entendiendo por éstos los flujos desde (importación) y hacía (exportación) otros sistemas hídricos (Madrid & Velázquez, 2008). La segunda cuestión es una relación entre el volumen de agua concesionada y la cantidad de agua consumida por cada cultivo agrícola estudiado, esto finalmente determina el grado de estrés hídrico.

Esta última noción, se relaciona con la vulnerabilidad hídrica para el contexto de esta investigación, y de acuerdo con IPCC (2007), citado en CONAGUA, (2018) se entenderá como el grado al cual un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente

a los requerimientos de agua en cantidad y calidad adecuada. Esta noción nos ayudó a entender que no solamente procesos biofísicos conllevan a situaciones críticas e irreversibles en torno a la calidad y cantidad de los recursos hídricos que ponen en riesgo el desarrollo humano y el funcionamiento de los ecosistemas, sino también procesos sociales, que subyacen y subsisten a la problemática de sobreexplotación y sobreasignación de los recursos hídricos como sucede con el aguacate y la fresa (Ávila, 2008).

Para la contabilidad de agua del sector aguacatero y fresero se utiliza el método volumétrico de la huella hídrica, recomendado por la Water Footprint Network (Hoekstra et al., 2011), basado en la demanda específica de agua (DEA), la cual se calcula a partir de los siguientes elementos: parámetros climatológicos, características del cultivo, factores del suelo, además de dos elementos que están relacionados con el rendimiento del cultivo: la superficie sembrada y la producción del cultivo. Para la realización de dichos cálculos se utilizó el programa CROPWAT 8.0.

El estudio se divide en cinco apartados, en el primero se aborda el estado de la cuestión o del arte, se hace un análisis conceptual de los términos que dirigen el estudio: huella y estrés hídricos, desde el marco de la sustentabilidad, para hacer un análisis de la producción de aguacate en el plano nacional y regional. En el segundo apartado se realiza una revisión teórica y metodológica que dan soporte al tema de investigación. En el tercer apartado se ubica geográficamente la zona de estudio, presentando un análisis de las características socioeconómicas y ambientales de la misma. Teniendo ubicado la zona de estudio se procede a realizar el cuarto capítulo donde se hace un análisis de resultados de la huella hídrica del aguacate y la fresa, en el último apartado se hace una discusión sobre la evaluación de la sostenibilidad hídrica de la zona de estudio, y cerrando con la conclusión del trabajo.

En consecuencia, el estudio evidencia un desmedido consumo de agua azul no concesionada en los municipios estudiados; situación que lleva a una fractura entre los ritmos naturales de producción de agua y los de apropiación humana entre el

agua y este tipo de agricultura intensiva. Aunado a lo anterior, también se está generando una deuda hidrológica expresada en el aprovechamiento privado de la renta hídrica para la exportación de estos productos agrícolas y es que la exportación de estos cultivos no incluye en los precios los daños ambientales producidos local o globalmente tanto presentes como futuros; esta deuda sin lugar a duda impacta con mayor fuerza a los grupos sociales más vulnerables.

Capítulo I

Marco conceptual

En este primer apartado se aborda el estado del arte o de la cuestión, este consiste en la primera etapa de cualquier tipo de investigación, de acuerdo con Rojas es “ir tras las huellas” del tema a investigar, con la finalidad de determinar cómo ha sido abordado el tema de interés, como se encuentra en el momento que se está realizando y cuáles son las tendencias (2007, pág. 14). En esta línea entenderemos que esta primera etapa es “un estudio analítico del conocimiento acumulado que hace parte de la investigación documental y que tiene como objetivo inventariar y sistematizar la producción en un área del conocimiento; de tal forma que el estado del arte se utiliza como una herramienta para el reconocimiento y la interpretación de la realidad y también como propuesta metodológica” (Molina, 2005, pág. 74) refiere que. De tal forma que este punto de partida nos permitirá construir y entender un determinado problema de investigación.

Entendiendo que el conocimiento es vasto, lo que significa que tenemos todo un universo posible a estudiar que se está renovando continuamente, es necesario definir un tema de interés. En este sentido, esta investigación centra su atención en el tema del *agua*. Sin embargo, el tema resulta aún muy general, y es que lo podemos abordar desde distintas perspectivas como: una sustancia química, como fluidos dinámicos en la superficie de la tierra, como patrimonio cultural, agua como recurso de poder y control político, agua como recurso económico (Martínez, 2019 pág.12). En esta investigación se estudió la demanda de agua y el estrés que esta genera a causa del sector agrícola de aguacate y fresa, para su estudio se utilizan

los indicadores de sostenibilidad: huella y estrés hídricos. Con la determinación de la huella hídrica agrícola y la disponibilidad de agua en la región de estudio, se obtiene un elemento que se suma a la unidad de estudio y es el grado de vulnerabilidad hídrica que este sector económico ocasiona a la región por el proceso de apropiación del elemento agua. El tema adquiere relevancia en las últimas décadas tanto en la arena política como académica, debido a que cada día el recurso agua se torna más escaso por su sobreexplotación en las diferentes funciones sociales.

El sector agrícola económico estudiado es el intensivo, se analiza este a raíz de que el uso de agua en éste es desmedido, ya que generalmente son cultivos agrícolas de riego, como es el caso del aguacate y la fresa, son frutos que utiliza grandes cantidades de agua de acuerdo con la revisión bibliográfica. Este tipo de agricultura es competitiva sólo si se plantan cultivos de alto valor comercial en lugares donde el precio del agua es muy bajo, el cual no refleja los costos reales, tal es el caso de los productos agrícolas mencionados (Veraza, 2007).

La relación del agua con el sector agrícola intensivo pone de relieve un tema crucial la *vulnerabilidad hídrica*; esta problemática se vuelve un tema sensible ante el crecimiento de este tipo de producción, ya que se está poniendo en riesgo el desarrollo humano y el funcionamiento de los ecosistemas, por premiar la actividad agrícola intensiva, con fines de exportación. Se presupone que este sector económico está fuera de la dimensión de la sustentabilidad. En este sentido, el marco de referencia toma en cuenta los grados de sustentabilidad, con la finalidad de ubicar el grado de sustentabilidad en la que se ubica esta problemática ambiental que se presenta con el recurso hídrico.

Para evaluar la vulnerabilidad hídrica de la cual se hace mención, nos centramos en el análisis de tres indicadores físicos: la huella hídrica, el agua virtual y el índice de estrés hídrico. En este apartado se realiza un análisis sobre los estudios a diferentes escalas sobre los temas ya referidos, con el objetivo de evidenciar la tendencia y los principales aportes que han tenido, y es que este primer acercamiento con las variables de interés auxilia en el desarrollo de la metodología.

1.1 Estudios de la huella y el estrés hídricos a diferentes escalas geográficas

El concepto de huella hídrica fue introducido por el Dr. Arjen Hoekstra en el año 2002, el autor fue pionero en cuantificar los volúmenes contenidos en productos, y desde entonces es difundido por la organización Water Footprint Network como indicador de la sostenibilidad sobre el uso del agua a lo largo de un proceso. La huella hídrica, se define como el volumen de agua consumido por un bien; tanto superficial como subterránea, y también los usos de la precipitación y la humedad del suelo para el caso de los productos agrícolas. Este autor divide a la huella hídrica en tres tipos: la huella hídrica verde definida como el volumen de agua de lluvia que no se convierte en escorrentía, por lo tanto, se almacena en los estratos permeables superficiales, esta se compone de dos partes una no productiva (evaporación del suelo) y la productiva (agua absorbida por las plantas para realizar sus procesos metabólicos). El segundo tipo es la huella hídrica azul la cual se entiende como el volumen de agua dulce extraída de una fuente superficial o subterránea, consumida para la producción de bienes y servicios. El tercer tipo de huella hídrica es la gris y se refiere al volumen de agua necesario para asimilar la carga de contaminante generada por la actividad, por ejemplo, fertilizantes y pesticidas (Hoekstra et al, 2011).

Entre las primeras publicaciones que son referencia se encuentra el informe “Water Footprints of Nations” publicado en el año 2004, en donde se realizó la primera estimación del contenido de agua virtual para cultivos primarios de 210 países y los flujos comerciales del agua virtual para 146 países para el periodo de 1997-2001. En la escala global se encontró el análisis de los flujos hídricos de la economía, además del estudio anterior otros que destacan: Chapagain et al. (2006a), Aldaya y Col. (2008) y Llamas (2008). En este último trabajo se propuso un método para diferenciar el agua azul del agua verde mediante el uso de ciertas opciones proporcionadas por la metodología tradicional centrada en los requerimientos de agua aplicado a un cultivo. En este mismo tenor se encontró el trabajo de Verma et al. (2009) que plantea el comercio de agua virtual como una alternativa a los trasvases físicos de agua en la india, y en la misma orientación se sitúa el trabajo

de Ma et al., (2006) y Zhao et al., (2009) para los trasvases en china. Otros autores que se suman son Naredo (2009) en su estudio del agua virtual y la huella hídrica de la comunidad de Madrid, y Mekkonen y Hoekstra (2010b), en su trabajo de la huella hídrica de la exportación de flores en el lago Naivasha en Kenia (Velázquez & Aguilera, 2012, pág. 70-71).

En cuanto al tema del estrés hídrico la percepción sobre el agua ha cambiado lentamente con el tiempo, a inicios del siglo XX se tenía la idea de que el agua estaba ahí para ser explotada sin tener en cuenta la sostenibilidad ambiental y es que solo se percibían tres grandes usuarios del agua: la industria, la agricultura y los hogares, el cuarto usuario, el medio ambiente era ignorado. Una nueva percepción del agua surge a mediados del mismo siglo con las discusiones de los límites planetarios, donde se evidencia que los recursos naturales no son finitos, es decir, se agotan, y es que el flujo de agua no es fijo, sino fluctúa con base en diferentes elementos, por lo que su consumo excesivo llega al agotamiento ocasionando estrés hídrico (Khawas, 2006).

En este sentido, Fernández (1999) define al estrés hídrico como el déficit de la oferta de recursos hídricos en una cuenca, respecto a la demanda. Para la FAO (2013) el estrés hídrico es un síntoma de escasez o desabasto de agua, causado por el aumento de la competencia entre los usuarios. Un antecedente de los estudios de estrés hídrico es el realizado por (Falkenmark, 1989) denominado “La enorme escasez de agua que ahora amenaza a África, ¿por qué no se aborda?”, el estudio analiza problemas y estrategias necesarias para el desarrollo socioeconómico en países propensos a la sequía, escasez de agua tanto para la producción agrícola y el suministro para el ser humano, este autor entiende que el estrés hídrico genera problemas de seguridad alimentaria, enfatizando que el agua es un factor determinante y por ello es necesario su estudio en términos de disponibilidad de agua desde el ciclo hidrológico.

Años posteriores al estudio anterior, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en su informe sobre el Desarrollo Humano de 2006 discute el tema de la crisis hídrica en dos direcciones: agua limpia y eliminación de agua

residuales y saneamiento, en este sentido, enfatiza la importancia de medir la deuda hidrológica entendiendo a esta noción como la responsabilidad contraída por los países industrializados, debido al consumo de agua a través de la demanda de productos primarios (Khawas, 2006).

Otro autor que contribuye es Hoekstra et al. (2012) desarrolla una evaluación nueva sobre la escasez de agua a nivel global, este autor combina tres innovaciones en la medición del uso y disponibilidad de agua, la primera recae en la cuantificación del agua en términos de uso consuntivo de los flujos subterráneos y superficiales, es decir, la huella hídrica azul. La segunda cuestión, es la evaluación de la disponibilidad de agua tomando en cuenta la cuantificación de los caudales necesarios para sustentar las funciones ecológicas, y el último elemento representa una comparación entre el uso de agua y la disponibilidad sobre una base mensual y no anual como comúnmente se realiza.

Un estudio más reciente es el realizado por Novoa et al., (2019) este autor se pregunta si la huella hídrica azul de los cultivos de la zona de estudio que es la Cuenca Cachapoal en Chile es sostenible considerando la disponibilidad de agua superficial y la variabilidad climática, y para contestar utiliza el indicador de huella hídrica agrícola y el de estrés hídrico, y es que entiende que el reto a nivel mundial es conseguir sustentabilidad hídrica, entendiéndose como la satisfacción de la demanda actual sin perjudicar el suministro futuro tanto para la sociedad como para los ecosistemas.

La búsqueda de evidencias sobre el tema se realizó a partir de la exploración documental en el repertorio electrónico de la Web Of Science a partir de la siguiente sintaxis ("*agricultural water footprint*" or "*virtual water trade*" and "*water stress*" OR "*water scarcity*" and "*cropwat model*"), la información general de los estudios consultados se presenta en el siguiente cuadro 1.1

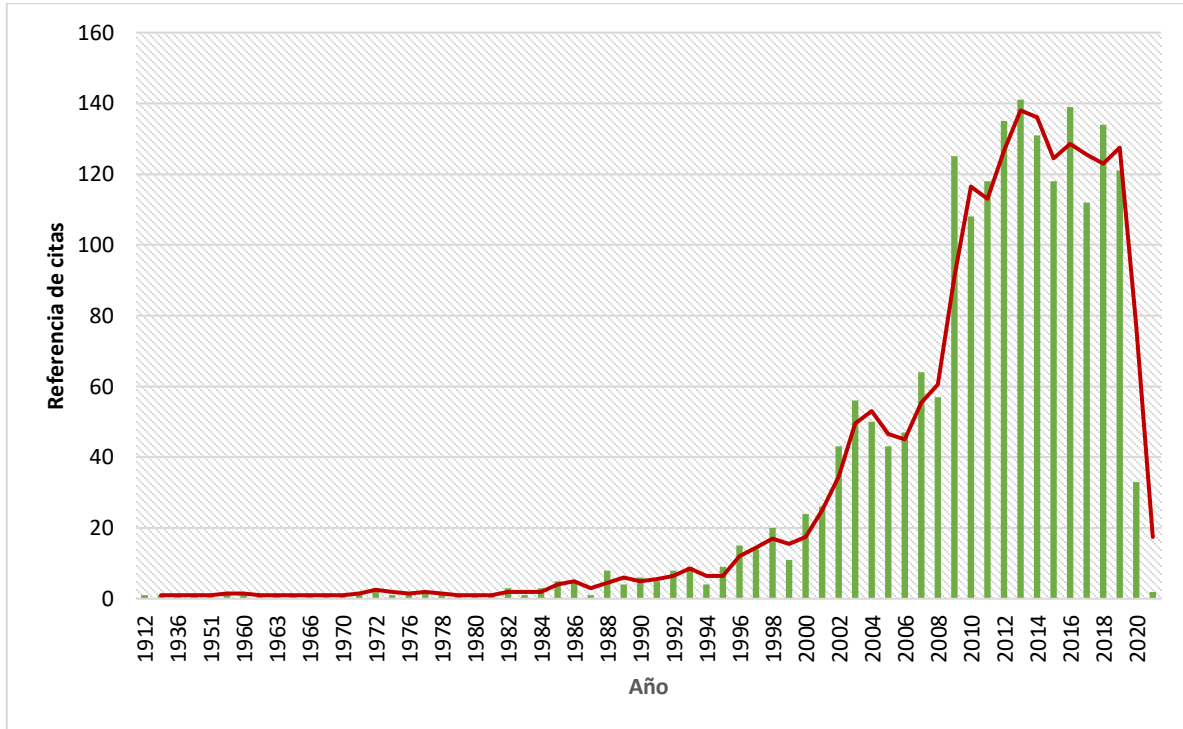
Cuadro 1.1. Información general de la búsqueda en la Web Of Sciencie

Descripción	Resultados
Documentos	57
Fuentes (revistas, libros, etc.)	36
Tipo de documentos	
Artículo	51
Artículo; acceso anticipado	1
Artículo; documento de trabajo	3
Revisión	2
Periodo	2005-2021
Contenido del documento	
Autores	224
Palabras clave del autor	175
Documentos de autoría única	2
Índice de colaboración	4.04

Nota: elaboración propia

La búsqueda evidencio que efectivamente el tema estudiado tiene sus raíces desde el siglo pasado, y es que, al detectar el número de referencias citadas, estas datan del siglo pasado, de hecho, para finales de ese periodo es que inicia la tendencia de crecimiento paulatinamente. Para 1998 el número de referencias citadas rebasa las 20 publicaciones anuales, y es después del año 2010 cuando se dispara su crecimiento hasta llegar a las más de 100 publicaciones ver Figura 1.1

Figura 1.1. Tendencia de crecimiento de las referencias citadas de: "agricultural water footprint" or "virtual water trade" and "water stress "OR "water scarcity" and "cropwat model"

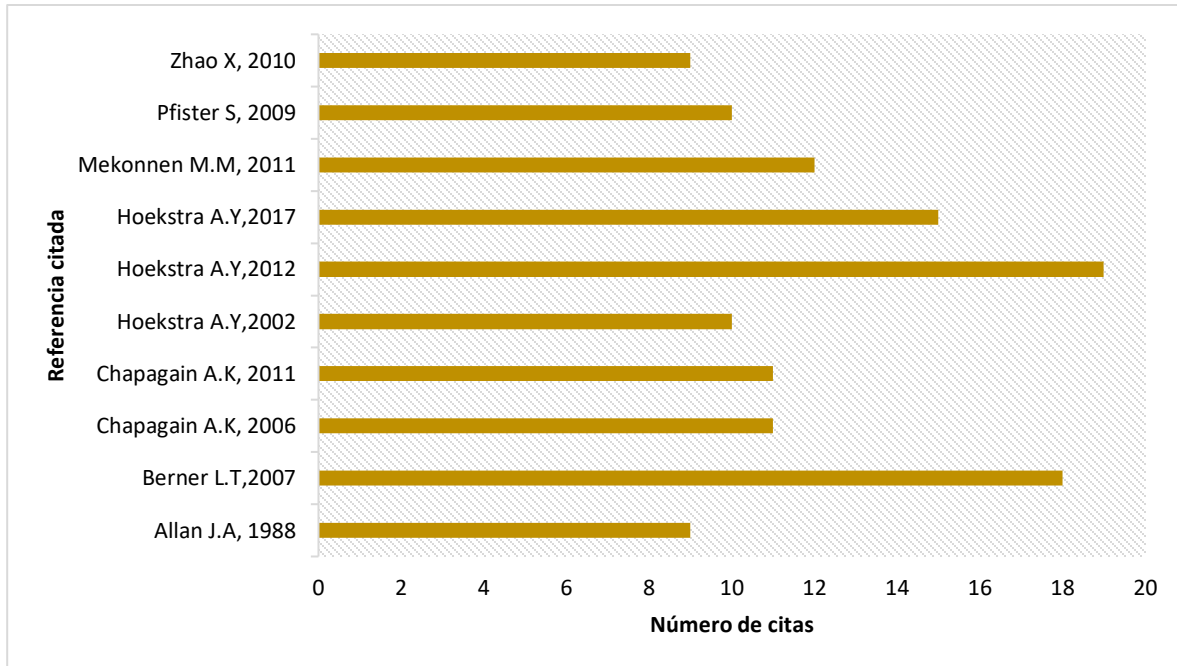


Nota: elaboración propia

Los autores más citados en estas publicaciones son Hoekstra, Chapagain, Mekonnen, con un porcentaje de referencia citada del 63% con base al total (ver figura 1.2). Las obras de estos autores han dado la base tanto teórica como metodológica sobre la cuantificación del consumo de agua principalmente en productos agrícolas, ha generado toda una revolución científica en diversas áreas, aun cuando este tipo de enfoque surgen desde la geografía e ingeniería, se ha convertido en un tema transversal, al representar los flujos ocultos del agua (Beltrán & Velázquez, 2015). Los estudios pioneros de: Hoekstra, Chapagain, Mekonnen representan una forma de evaluar la sostenibilidad del uso del recurso agua, es decir, con qué fines se consume y contamina, y con ello generar respuestas y acciones específicas para afrontar la gestión del recurso agua, en este tenor, Seguí et al., (2019) refiere que el manejo del agua en la actualidad gira en torno a la satisfacción de la demanda de agua para los sectores agrícolas e industriales, sin

embargo el gran desafío hoy en día es satisfacer esa demanda de manera sostenible, es decir sin afectar o generar impactos negativos sobre el ecosistema.

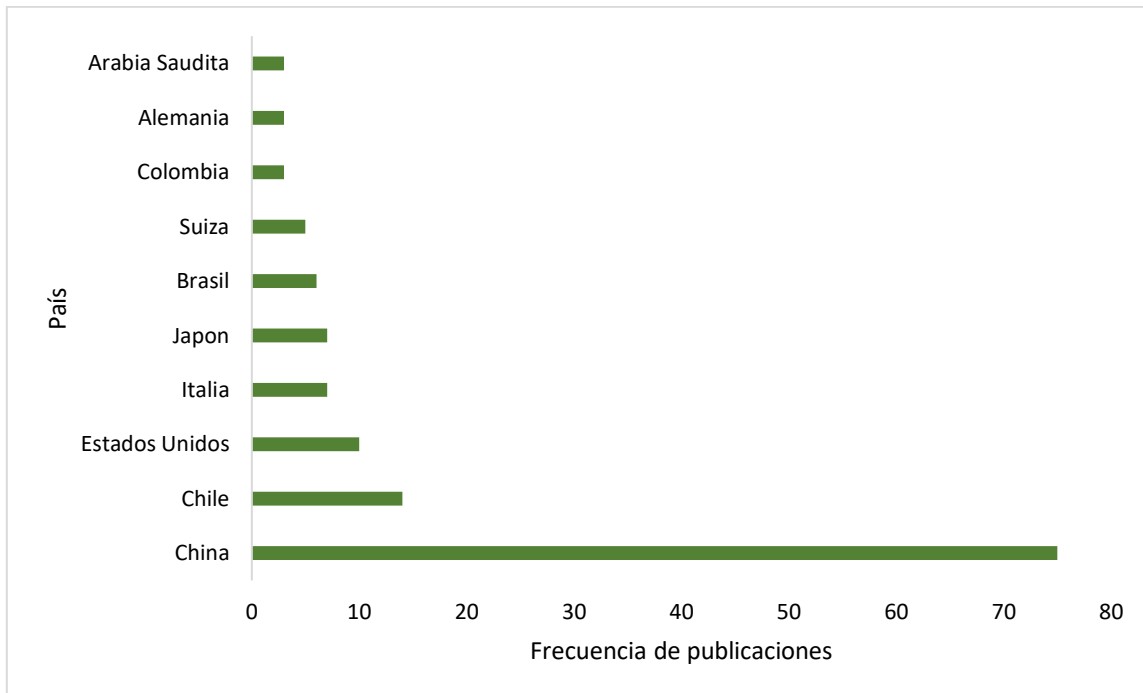
Figura 1.2. Autores con mayor número de referencias citadas en el tema de la huella hídrica en las últimas tres décadas.



Nota: elaboración propia

Aunado a lo anterior, otro elemento a mencionar es el lugar de procedencia de las investigaciones científicas, el país con mayor producción científica es China con un 56% del total, seguido de Chile con un 11% y Estados Unidos con un 8% (ver figura 1.3), por lo general los países desarrollados son los que más contribuyen a la producción científica en este tipo de repositorios electrónicos y la estadísticas de acuerdo al análisis de los datos los demuestran, sin embargo, también en países de América Latina se está contribuyendo a esta esfera del conocimiento, con ello también se evidencia que la preocupación por la sostenibilidad del elemento agua es global y es que la crisis de agua dulce constituye un gran riesgo, tanto para la economía, como para el mantenimiento de los ecosistemas, y es por ello que las políticas en el tema del agua hoy en día buscan mejorar el uso eficiente del agua y estabilizar su creciente demanda en los diferentes usos tanto consuntivos como no consuntivos. Finalmente, lo que se busca a escala global es incentivar el uso eficiente del agua en las diversas funciones sociales que emplean este bien.

Figura 1.3. Países con mayor producción científica en el tema de la huella hídrica



Nota: elaboración propia

En esta búsqueda se detectaron una serie de estudios del periodo de 2017 a 2021 que son referencia clave para el desarrollo metodológico de la presente investigación, y es que dan luz sobre el proceso a seguir y las innovaciones que se deben realizar al método, además vuelven a corroborar la importancia de la evaluación de los recursos hídricos actual y futura, es decir, la variabilidad natural y los flujos de entrada y/o demandas por los diferentes sectores tanto económicos como sociales y es que esta información proporciona una estimación de la sostenibilidad del agua con el fin de establecer y cumplir con la protección de los recursos hídricos y con ellos incidir en su gestión desde la unidad básica de estudio que es la cuenca (ver cuadro 1.2).

Cuadro 1.2. Estudios sobre la evaluación de la huella hídrica y el agua virtual.

Título	Autor	Objetivo
Global virtual water trade of avocado	Caro et al., 2021	Investigar la relación entre el comercio internacional de aguacate y el comercio de agua virtual relacionado durante el período 2000-2016.
Water footprint analysis of temporary crops produced in Sao Carlos (SP), Brazil	Reis et al., 2020	Evaluar la huella hídrica de cultivos temporales producidos en el municipio de Sao Carlos, Brasil, entre 2004 y 2017.
Assessing ground and surface water scarcity indices using ground and surface water footprints in the Tehran province of Iran	Rezaei Kalvani et al., 2019	Evaluar las huellas del suelo agrícola y de las aguas superficiales en la provincia de Teherán en Irán con el fin de establecer un índice de escasez de aguas superficiales y del suelo agrícola.
Sustainability assessment of the agricultural water footprint in the Cachapoal River basin, Chile	Novoa et al., 2019	Evaluar la sostenibilidad del consumo de agua agrícola en la Cuenca del río Cachapoal utilizando los indicadores de huella hídrica azul y gris en condiciones de variabilidad climática.
China's water footprint by province, and inter-provincial transfer of virtual water	Chen et al., 2017	Estimar a partir del modelo de insumo-producto interregional la huella hídrica de cada provincia de China y cuantificar la transferencia interprovincial de agua virtual.

Nota: elaboración propia

En el caso nacional la contabilidad del consumo del recurso hídrico, se han venido desarrollando desde la academia hasta instituciones gubernamentales como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), de hecho la referencia indica que en México la evaluación de la huella hídrica comenzó a tomar mayor relevancia a partir del presente siglo, cuando se distingue en el país una problemática respecto al alto grado de presión que se está ejerciendo sobre el elemento agua, en virtud de que la oferta de agua no está creciendo lo suficiente, y la demanda en cambio sí está aumentando; a raíz de esta situación, se distingue una etapa en la política hídrica encaminada a la sostenibilidad de las aguas nacionales (Vázquez et al., 2017).

Sumado a la política hídrica, instituciones como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), participan activamente en el tema, y desde 2011 el IMTA se afilió a la red de "Water Footprint

Network”, con el objetivo de colaborar y difundir en diferentes ámbitos la huella hídrica, y es que este indicador aporta una nueva perspectiva para orientar a las políticas públicas y ayudar a tomar decisiones en diversos espacios sociales sobre la gestión más sostenible, eficiente y justa del agua (Arévalo et al.,2011).

Aunado a lo anterior, en el área académica se encontró estudios como el de Rodríguez (2016), el cual presenta una metodología para estimar los multiplicadores de agua virtual para la actividad económica en la cuenca del Valle de México, con base en una matriz input-output para el 2008. En este contexto, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) publicó en el año de 2017 el libro “Huella hídrica en México: análisis y perspectivas” donde a partir de diferentes estudios analiza las implicaciones y aplicaciones del agua en regiones y productos en específico en el país y a su vez explica una serie de acciones alcanzables para un mejor manejo del recurso hídrico.

En el nivel local, se lograron identificar dos estudios clave, el primero es el de Peniche y Ávila (2012), en este se hacen un análisis del agua contenida en la fresa en el Valle de Zamora, Michoacán, a partir del uso de los conceptos de huella hídrica y agua virtual; el estudio demuestra que los requerimientos metabólicos de agua en este cultivo son muy altos respecto a cultivos tradicionales como el maíz, y es que la fresa requiere cerca de 40 riegos al tiempo que el maíz utiliza sólo 4; a lo anterior se le debe sumar que las reglas de inocuidad impuestas por las regulaciones de exportación exigen agua de la más alta calidad, y por lo general esta debe provenir de los pozos profundos, dicha situación ha generado procesos de apropiación de reservas de agua.

Un segundo estudio de referencia es el de Gómez (2018), en donde evidencia el peligro hidrológico que representa la desmesurada plantación de aguacate, para ello el autor tuvo que realizar trabajo en campo, para determinar cuánta agua capta un árbol se realizaron anillados en cada uno de los árboles y para el consumo se efectuaron mediciones gravimétricas y foliares directamente en campo. Este estudio demostró que un árbol joven de aguacate consume alrededor de 0.98 l/m²/día, mientras que un árbol de pino 0.190 l/m²/día, lo anterior significa que el cultivo de

aguacate consume cinco veces más agua que un árbol de pino. Aunado, al excesivo consumo de agua por parte de este cultivo, este mismo autor logró evidenciar una segunda problemática causada por el cambio de uso de suelo, la afectación en la recarga de agua. En este sentido, logró estimar que un árbol de aguacate capta 0.017 mientras que un pino capta 2.4 por ciento del total de la precipitación, es decir, 14 veces menos en comparación con el árbol de pino. En consecuencia, la producción de aguacate permite poca infiltración de agua al subsuelo, lo que puede afectar la recarga de agua del suelo y los cuerpos superficiales en comparación con las áreas donde aún existe bosque.

Si bien la investigación de Gómez (2018) es un referente fundamental en el caso de la cuantificación del consumo hídrico (huella hídrica verde y azul) en el aguacate y expresa su preocupación por los impactos negativos para la parte social, ambiental y económica. Aun cuando tiene muchas bondades este autor no realiza un análisis concretamente sobre cuánta agua se consume a partir de la producción (toneladas) de esta fruta tropical, y tampoco analiza la parte de los flujos virtuales de agua, es decir la venta de agua en forma de mercancía, es precisamente estos elementos que tienen la bondad de evidencia con mayor claridad ya no el consumo de este vital líquido por árbol, sino en conjunto cuánta agua está consumiendo una tonelada de aguacate, es decir la productividad que tiene el agua, así mismo cuánta agua se está llenando a otros países por medio de este fruto y cuánto dinero está generando dicho comercio.

En consecuencia, el trabajo de este ejercicio tuvo como finalidad mostrar el estado los antecedentes sobre la huella, hídrica, el comercio virtual de agua y el estrés hídrico en las últimas décadas, esta revisión evidenció la importancia del tema ya que en la actualidad el estudio del agua se ha incrementado debido a la crisis hídrica no solo a nivel global, sino regional (cuenca). Finalmente, estos estudios son elementos clave para la reforma y el diseño de políticas públicas encaminadas a asegurar la eficiencia y equidad del agua.

1.2 El marco de la sustentabilidad

La noción de la sustentabilidad es una propiedad emergente de un mundo que se encuentra lleno de ambigüedades, complejidades e incertidumbres; donde el debate a resolver es la relación entre nuestras sociedades y la naturaleza externa. Esta perspectiva comenzó a discutirse a finales de los años sesenta y principios de los setenta del siglo pasado con el debate de la crisis ambiental en la arena política, la cual fue impulsada por una serie de informes científicos y eventos internacionales. En este camino intelectual del debate ambientalista se reconocen tres grandes corrientes en disputa: la corriente conservacionista o sustentabilidad fuerte, el ambientalismo moderado o sustentabilidad débil y la corriente del humanismo crítico; estas corrientes se desarrollarán a lo largo de la revisión histórica que se presenta a continuación (Aguilar, 2017).

Los acotamientos que marcaron el debate de la construcción de un nuevo paradigma de desarrollo fueron las contribuciones de dos obras: *Silent Spring* de Rachel y el informe del Club Roma “*Los Límites del Crecimiento*”, dichas publicaciones evidenciaron que el subsistema económico ya ha tocado o excedido los límites importante de fuente y sumidero y prácticamente no podemos hallar en la tierra un lugar que esté ausente de este tipo de economía o cual ha llevado a una crisis ecológica. (Constanza et al., 1997, citado en Fuerte, 2019, pág. 16) “manifiesta que desde la Antártida hasta el Montes Everest los desperdicios humanos son obvios y cada vez en aumento, además que no es posible encontrar una muestra de agua del océano sin una señal de los 20 mil millones de toneladas de desperdicios humanos que son vertidos y que una quinta parte de la población mundial respira aire más venenoso”.

El informe de los límites del crecimiento¹ sostenía dos elementos para argumentar su postura: el primer argumento refería que dos tercios de la humanidad están sometidos por la pobreza, malnutrición y miseria, por propiciar la ideología que el

¹ Fue una publicación clave que estableció el debate ambiental en círculos más amplios que las tradiciones al instalarlo en el ámbito político.

crecimiento económico genera desarrollo; la segunda manifestación señalaba que la población aumenta con mayor premura que sus economías. En resultado, dada las limitaciones de los recursos naturales el ritmo del crecimiento económico que ha existido no es sostenible, es por ello por lo que el informe plantea como solución un crecimiento cero.

Los planteamientos más notorios de la noción de crecimiento cero en el momento de la puesta en escena de la alarma frente a la crisis ambiental fueron las ideas de Kenneth E. Boulding, de Paul y Anne Ehrlich y los límites del crecimiento de Meadows. La perspectiva de anti-crecimiento parte de la premisa de que en el futuro la economía tendrá que concebirse como un sistema cerrado (Foladori & Pierri, 2005, citado en Fuerte, 2019, pág. 17). La noción de crecimiento cero como supuesta panacea para mantener de forma indefinida la actividad humana refiere Martínez & Roca (2000) que es totalmente errada ya que la sostenibilidad es un asunto de grado y de perspectiva temporal. En este sentido, Constanza y Patten (1995) refieren al tiempo, y en particular a la longevidad de un sistema sostenible ya que un sistema renovable sobrevive por algún tiempo específico no infinito. Entonces sólo una economía basada en fuentes energéticas renovables y en ciclos cerrados de materia puede ser potencialmente sostenible.

Aunado al informe de los límites del crecimiento la segunda referencia que sirve de antecedente al inicio de la noción del desarrollo sustentable fue la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano o mejor conocida como la Conferencia de Estocolmo² en 1972. En esta cumbre se trazaron diferentes formas de entender y asumir la crisis ambiental por parte de los países desarrollados y los países en vías de desarrollo. “El énfasis de la conferencia estaba dado en los países desarrollados y estaba puesto en los problemas de contaminación causada por la

² El documento base de la reunión fue “Only One Earth: the Care and Maintenance of a Small Planet” documento realizado por Rene Dubos y Bárbara Ward por encargo de la secretaria, e incorporar observaciones de 70 especialistas de todo el mundo, Se considera el documento que hasta en ese momento logró analizar con mayor precisión los problemas ambientales a nivel mundial (Foladori & Pierri, 2005).

acelerada industrialización y urbanización y el agotamiento de los recursos naturales, el que adjudicaba al crecimiento poblacional. Tanto el Informe de los límites del crecimiento como la conferencia ejecutada en Estocolmo concuerdan en que la solución para hacer frente a la crisis ambiental resulta ser disminuir el crecimiento poblacional, este argumento tiene sus bases en la teoría económica clásica, siendo los planteamientos de Malthus los más relevantes, este autor en su célebre ensayo sobre población publicado en 1798 planteaba que, mientras la población se desarrolle en progresión geométrica o exponencial, la producción de alimentos tendía a hacer en progresión aritmética o lineal, por lo tanto, declaraba que la solución sería reducir la natalidad. Es significativo mencionar, que la preocupación de Malthus no recaía en la preservación natural, sino en la presión social sobre la distribución de la riqueza (Fuerte, 2019, pág. 17).

En este debate surge otra alternativa a las anteriores desarrollada por la corriente del ecodesarrollo la cual se inserta en la perspectiva del humanismo crítico. El humanismo crítico tiene sus raíces en las ideas y movimientos anarquistas y socialistas, colocándose del lado de los países y sectores más vulnerables, esta visión entiende que la sustentabilidad requiere un cambio social radical, centrado en atender las necesidades y calidad de vida de la mayoría. En este sentido el ecodesarrollo surge en la lucha política por definir un nuevo orden mundial, frente a la idea de los límites del crecimiento y la propuesta de una economía estacionaria divulgada por el Club Roma. Se inscribió dentro del movimiento internacional desarrollado por los países del Tercer Mundo y como crítica al concepto de desarrollo como equivalente lineal de crecimiento económico (Foladori & Pierri, 2005).

La corriente de ecodesarrollo fue desarrollada por el economista Ignacy Sachs consultor de las Naciones Unidas para temas de medio ambiente y desarrollo en la década de los setenta propuso la palabra “ecodesarrollo”. Esta noción inicio a utilizarse en los círculos internacionales relacionados con el medio ambiente y el desarrollo entre los que destacan: el seminario de Founex en Suiza celebrado en

1971, la Conferencia de Cocoyoc celebrada en México en 1974 y el seminario organizado por la Fundación Dag Hammarskjöld, en 1975.

El ecodesarrollo procede del concepto de ecosistema, que abarca el sistema natural y el contexto sociocultural, y reconoce el fenómeno de diversidad sugiriendo una pluralidad de soluciones a la problemática del desarrollo. Según Leff (1995) la perspectiva proviene de la economía ambiental que interpreta los problemas ambientales como externalidades del sistema, y es a partir de ello que el ecodesarrollo buscaría la forma de internalizar los procesos del desarrollo. En consecuencia, el ecodesarrollo trató de ser una expresión reivindicativa que buscaba conciliar el aumento de la producción, que tan urgentemente reclamaban los países del tercer mundo, con el respeto a los ecosistemas necesarios para mantener las condiciones de la tierra. Aun cuando fue un término muy difundido, Sanchs refiere que este enfoque fue desaprobado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el mismo explica que el programa resaltó que había que retocar el vocabulario quedando vetado en los foros el ecodesarrollo (Naredo, 1996, citado en Fuerte, 2019, pág. 19).

Con el descontento del ecodesarrollo, se siguió buscando una noción que fuera aceptada principalmente por los economistas que siguen firmes en la idea del crecimiento económico como panacea de desarrollo, y, es hasta 1987 que se origina la noción de desarrollo sustentable, el cual sale a la luz a partir del informe de Brundtland definiendo a este como *“desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de la generación futura de satisfacer sus propias necesidades”* (Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo, 1988). Resulta ser una concepción que a simple vista parece muy acertado, sin embargo, es una noción que está envuelta en una serie de elementos que chocan como es el desarrollo y el conservacionismo, economía y el bienestar, la acción local y el efecto global, necesidades y límites (Cruz, 2012).

Ante ese choque de elementos el desarrollo sustentable ha sido calificado de reformista y conformista porque pretende unir elementos que muchos consideran irreconocibles entre ellos el desarrollo económico y la preservación del medio

ambiente. Aunado a lo anterior esta noción, no toma en cuenta el rango de escalas de tiempo y espacio sobre el cual se debe aplicar y no se da cuenta de que los problemas que están relacionados con la predicción en lugar de la definición (Constanza et al., 2000). En este contexto Leff (1988) manifiesta que la perspectiva sólo monta un simulacro que, al negar los límites del crecimiento acelera la carrera desenfrenada del proceso económico hacia la muerte y es que el concepto plantea que el crecimiento económico es compatible con la sustentabilidad, de hecho, se poner énfasis en que la riqueza no es nociva para el ambiente mientras la pobreza sí (Martínez & Roca, 2000).

El concepto de desarrollo sustentable derivado del informe de Brundtland representa una visión inequívoca que recaen en un posicionamiento ambiental que tiene su base en la teoría económica neoclásica y en los postulados de los Keynesianos denominada ambientalismo moderado, la cual recae en una perspectiva de “sustentabilidad débil” que es una visión antropocéntrica y desarrollistas. Esta corriente sustenta que el crecimiento económico es un recurso para enfrentar la crisis ambiental. La corriente de la sustentabilidad débil tiene dos elementos principales: el primero, la posibilidad de sustitución de los bienes ambientales por capital manufacturado, con la pretensión de ser capaces de medir en valor monetario esos bienes ambientales y su deterioro, y el segundo, el apoyo implícitamente a la tesis de que la riqueza es buena para el ambiente (Martínez & Roca, 2000).

Atendiendo al segundo principio de la sustentabilidad débil, economistas como David Pearce han tratado de desarrollar medidas empíricas, como el intento de un PIB verde para demostrar que los países ricos se consideran sostenibles al ser mayor su ahorro y, por tanto, la inversión compensa el deterioro ambiental. El colorido de este principio es que los pobres son demasiado pobres para ser verdes o dicho de otra manera la pobreza es enemiga del ambiente, más que la riqueza (Martínez & Roca, 2000). Sin embargo, esta hipótesis es totalmente equívoca ya que la problemática ambiental proviene precisamente de esas economías mundiales basadas en la energía del petróleo, del gas, del carbón y en la energía

nuclear. Entonces la raíz de los problemas ambientales estriba en la sobreproducción y el sobreconsumo principalmente de los países industrializados que muestran economías claramente insostenibles (Fuerte, 2019, pág. 19).

Estas aproximaciones que dieron origen a la perspectiva de la sustentabilidad se envuelven en una posición antropocéntrica (ver figura 1.4). Esta noción separa al hombre como otra parte del todo natural, de esta manera la naturaleza pasa a dominio del hombre. El dominio de la naturaleza está en función del ser humano ya que este es amo y señor de esta. Esta entrega de la naturaleza al servicio del ser humano se realiza con la pretensión de un control totalizador que genere un nivel de desarrollo mayor para el mismo ser humano. Sin embargo, esta posición resulta ser totalmente errónea al desconocer toda ley de la conservación y atribuciones de valores intrínsecos de la naturaleza.

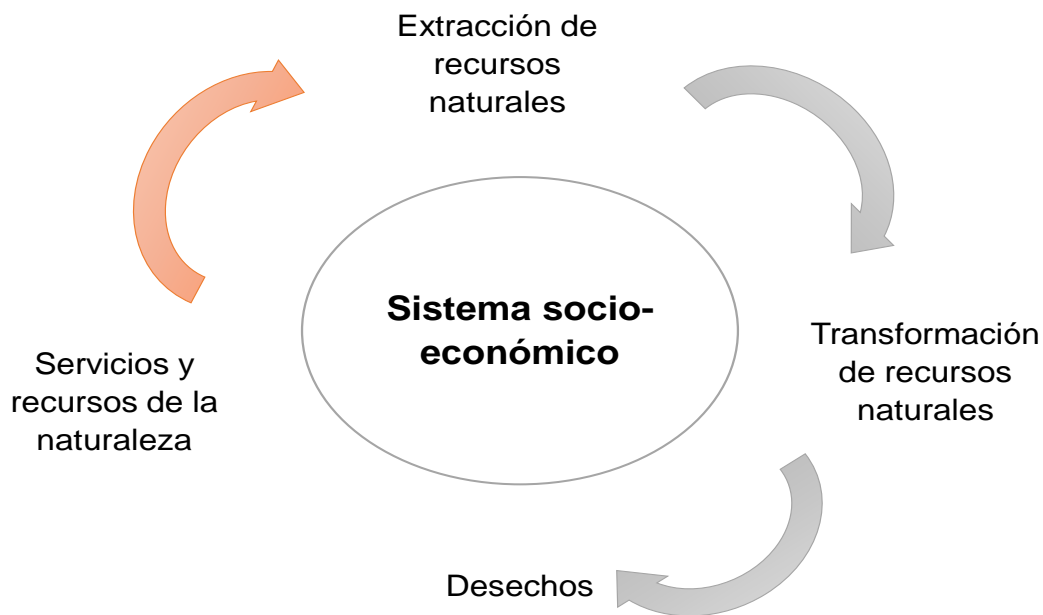
Una posición contraria al paradigma mencionado anteriormente es el marco de los límites planetarios³ resulta ser un paradigma que integra el desarrollo continuo de las sociedades humanas y el mantenimiento del sistema tierra, el objetivo de esta noción es guiar a las sociedades humanas lejos de los umbrales planetarios mediante la definición de un espacio de operación seguro en el que se pueda seguir desarrollando la vida y las actividades sociales y económicas, para ello se plantea la evaluación de los procesos biofísicos, es decir la cuantificación de la huella humana, lo que a su vez propone límites para la perturbación antropogénica de procesos críticos del sistema terrestre (Steffen et al., 2015).

Tomando de referencia la figura 1.4 se subraya que el sector agrícola intensivo del aguacate y fresa se posiciona en este grado de sustentabilidad, y es que solo extrae de la naturaleza los recursos naturales, esta situación genera dos consecuencias: la primera el comercio de agua en forma de mercancía y la segunda cuestión, resulta ser la generación de residuos y contaminantes que son vertidos a la naturaleza, generando daños a los ecosistemas.

³ El límite planetario no es el umbral biofísico, sino mucho antes de alcanzar el umbral.

Este tipo de pensamiento reduccionista que aísla el elemento agua de los ecosistemas del cual forman parte y que lo percibe como independiente impide a menudo entender el valor de los ecosistemas y del ciclo hidrológico en toda su amplitud y con todas sus funciones. En este sentido, Leff (2002) refiere que el agua al retirarse de su entorno natural se convierte en un bien económico, dando paso a un proceso de cosificación de la naturaleza, en la que es desnaturalizada de su complejidad ecológica y convertida en materia prima del proceso económico.

Figura 1.4. Esquema de la posición antropocéntrica a ultranza de la sustentabilidad débil



Nota: (Gallopín, 2003).

La última corriente de la sustentabilidad recae en la corriente conservacionista o sustentabilidad fuerte que tiene sus raíces en el conservacionismo del siglo XIX y en las ideas econcéntricas de Leopold (1949). Desde este nuevo paradigma se entiende que la naturaleza tiene valores intrínsecos externos al ser humano. En este sentido, se reconocen leyes ecológicas que dan equilibrio a los ecosistemas, por lo cual el ser humano debería estar obligado a acomodar su economía a esas leyes naturales; de lo contrario surgen disturbios y caos con las intervenciones humanas en el medio, y, es que la economía capitalista se mueve con ritmos basados

exclusivamente en la dinámica de los precios, los cuales se contraponen con los ritmos naturales (Foladori & Pierri, 2005).

Esta corriente comenzó a tomar cuerpo con una teoría más clara llamada economía ecológica, la cual busca concluir con el paradigma reduccionista que admite que el mundo es separable en unidades relativamente aisladas. Sus principios fueron desarrollados por el norteamericano Herman Daly. El punto de partida de la economía ecológica es la obra de Georgescu Roegen publicada en 1971 “La ley de la entropía y el proceso económico” (Constanza et al. 1996). Este autor afirmaba que todos los procesos económicos implican el uso de energía y que la segunda ley de la termodinámica, la ley de la entropía revela claramente que la energía disponible en un sistema cerrado sólo puede disminuir. En este sentido se debe entender que la tierra es un sistema termodinámico, es decir, abierto en el flujo de energía y cerrado en el ciclo de materiales (Fuerte, 2019, pág. 20).

Aunado a que esta teoría estudia los flujos de energía y materia, estudia también un enfoque reproductivo de las condiciones sociales y de distribución del patrimonio e ingresos, esto para que la economía que extrae los recursos y genera residuos encaje en los ecosistemas, asimismo estudia la valorización de los servicios prestados por el ecosistema al subsistema económico Martínez (1992).y Gowdy, (1994), concibe a la Economía Ecológica como la ciencia de la gestión del desarrollo sustentable, esta disciplina parte de la idea de que el ser humano puede vivir de una manera sustentable con las demás especies y recursos naturales que el planeta ofrece. Desde el pensamiento económico neoclásico la económica ecológica se sienta como la única corriente heterodoxo de la economía centrada en la economía humana, no sólo como sistema social, sino también como parte del universo biofísico la cual busca mejorar la calidad de vida del ambiente mediante (Fuerte, 2019, pág.20). Para un mejor entendimiento de los enfoques de pensamiento ambiental ver cuadro 1.3.

Cuadro 1.3. Tipología del pensamiento ambientalista de los niveles de sustentabilidad

Enfoque	Corrientes	Autores	Causas de la crisis ambiental	Soluciones para enfrentar la crisis ambiental
Ecocentristas ↓ Sustentabilidad fuerte	-Economía ecológica	Herman Daly N. Naess	-Ética antropocéntrica. -Desarrollo tecnológico. -Desarrollo industrial. -Crecimiento poblacional.	-Igualitarismo biosférico. -Detener el crecimiento industrial y urbano. -Detener el crecimiento poblacional.
Antropocentristas ↓ Sustentabilidad débil	Ambientalistas moderados	World Commission on Environment and Development	-La crisis ambiental no es grave. -Uso excesivo de recursos naturales porque no son propiedad privada.	-Liberar al mercado sin participación estatal. -Políticas e instrumentos de gestión que internalicen los costos ambientales.
Humanismo crítico ↓ Sustentabilidad Muy fuerte	Eco-desarrollistas	I. Sachs	-Modelo productivista y consumista impuesto por los países hegemónicos.	- Modelos de producción y consumo alternativo basados en lo local.

Nota: (Foladori & Pierri, 2005)

La reflexión nos lleva a mencionar que, en el caso del presente estudio, no hará mención del desarrollo sustentable ya que resulta un paradigma que desde la corriente en la que se posiciona que es el antropocentrismo no entiende al elemento agua como un elemento social, ambiental y económico, por lo tanto, solo se hará mención de la sustentabilidad, y es que el agua debe ser estudiado desde un paradigma ecosistémico, considerando que “el principio de la sustentabilidad implica que cada intervención en el ciclo hidrológico tiene que tomar en cuenta la capacidad de renovación y/o regeneración de los ecosistemas hídricos y el resto de ecosistemas y formas de vida asociados a estos” (Arrojo et al., 2006, pág.21, consultado en Martínez, 2019, pág.18). Lo anterior involucra entender que las partes biológicas y las físicas de la naturaleza existen de manera unificadas por una diversidad de relaciones (Ricklefs, 1998).

1.3 La perspectiva de la economía ecológica: categoría para el estudio de los flujos de agua

Con fundamento en esta serie de corrientes erróneas que siguen aislando los recursos naturales de la triada clásica de tierra, capital y trabajo, es que la economía y la ecología a finales del siglo XX encabeza una nueva racionalidad que busca trascender las estrechas fronteras disciplinarias. Constanza et al. (1996) refiere que la **economía ecológica** no es un enfoque nuevo ni aislado básicamente entre supuestos o teorías compartidas, sino representa un compromiso entre economistas, ecologistas y otros, tantos académicos y profesionistas que buscan acabar con el paradigma reduccionistas que presupone que el mundo es separable en unidades relativamente aisladas, que se pueden estudiar y comprender por sí solas. Este paradigma que tiene su base en una posición de la “sustentabilidad fuerte” investiga nuevos pensamientos acopiando aportaciones desde campos tan dispersos como la ecología, la economía, la sociología o la geología para facilitar el desarrollo e implementación de nuevas políticas económicas y ambientales (Fuerte, 2019, pág. 20).

En este mismo contexto, López & Pino (2013) citado (Argueta, 2018) en manifiestan que una de las características principales de la economía ecológica es una visión compartida de un planeta sostenible, donde los seres humanos como centro del desarrollo, consideren las limitaciones impuestas por la naturaleza en consecuencia una visión compleja fundamentada en leyes y principios que rigen la unidad naturaleza-sociedad y es que la historia del pensamiento tradicional económico deja de lado la realidad física y la social en la que transcurre la vida del ser humano. La separación que se refleja en una visión reduccionista de la vida se debe básicamente a dos aspectos: el primero hace referencia a que el sistema económico solo se limita a los valores de cambio y la segunda cuestión es la reducción del concepto de riqueza, único objeto de estudio de la economía desde esta mirada la economía humana está abierta a la entrada energía y materia.

El inicio de la economía ecológica es la obra de Georgescu Roegen publicada en 1971 “La ley de la entropía y el proceso económico” (Constanza et al., 1996). En

este trabajo el autor afirmaba que todos los procesos económicos envuelven el uso de energía y que la segunda ley de la termodinámica, la ley de la entropía, indica visiblemente que la energía disponible en un sistema cerrado sólo puede disminuir. De hecho, Georgescu años antes de esta afirmación ya había insistido en la imposibilidad del crecimiento exponencial de la economía debido al crecimiento de la ley de la entropía, y también ya había señalado que la sustitución de recursos naturales por lo que los economistas llaman capital, tenía límites, porque para la producción y la operación del capital hace falta recursos naturales ya que la tecnología no crea recursos nuevos. Sin embargo, sus aportes poco habían llamado la atención dentro del ámbito académico y político y fue hasta ya finales del siglo XX que tomó notabilidad entendiendo que la tierra es un sistema termodinámico, abierto en el flujo de energía y cerrado en el ciclo de materiales (Fuerte, 2019, pág. 20).

En Georgescu-Roegen, la teoría de valor-energía no solo es una corriente circular de valor de cambio en el que productores y consumidores participan. Contiene además un rendimiento antrópico de energía y de materiales, que atraviesa la economía. Esta última aportación estriba en que debe de haber un aprovechamiento de energía y sus derivados sostenibles, es decir que puedan ser aprovechados a largo plazo los materiales existentes en nuestro planeta (Fuerte, 2019, pág. 20). En consecuencia, la economía ecológica se fundamenta en el análisis de las interacciones entre los seres humanos y el medio ambiente orgánico e inorgánico.

Si bien ya se comentó el objetivo de estudio de la economía ecológica, es de importancia manifestar que los indicadores de estudio de este enfoque reflejan el consumo de materiales, de energía y de agua; entre estos encontramos el indicador de la huella hídrica, el cual considera el uso del agua oculta a lo largo de una cadena de producción de bienes, este genera información de los efectos sobre el agua asociados a los hábitos de vida de las personas, empresas o producto en particular si bien la huella hídrica en la actualidad resulta ser un tema de estudio bastante difundido para entender los flujos de entrada y salida de agua de una actividad económica y con ellos generar recomendaciones encaminadas a aumentar la

eficiencia y reducir la escasez del recurso, también resulta ser un tema bastante criticado y es que deja de lado las implicaciones políticas, sociales y territoriales que tienen los flujos de agua y que llevan a conflictos socioambientales derivados de la sobreexplotación y el control del recurso por parte de un complejo número de actores que gestionan este recurso. Beltrán y Velázquez (2015) manifiestan que el estudio del agua debe ser reforzado con el enfoque de la **ecología política** y es que esta perspectiva ofrece una alternativa a los enfoques convencionales.

Budds (2012) refiere que la postura de la ecología política en el tema del agua resulta ser un enfoque adecuado para entender la compleja interrelación entre la dimensión social y las cuestiones ambientales y es que al examinar detenidamente las relaciones entre la naturaleza y la sociedad se puede distinguir grupos sociales e instituciones que determinan el acceso o uso de los recursos como el agua y que a su vez determinan resultados sociales y ecológicos desiguales y que desde la sola mirada de la contabilidad de los flujos de agua no se logra apreciar esta relación de poder que se ejerce sobre este vital líquido y que a su vez genera una serie de disputas por controlar este recurso para garantizar los propios intereses, en consecuencia el agua no es un recurso puramente material, sino un recurso que incorpora relaciones sociales que también deben ser vistas al estudiar este recurso multifuncional.

1.3.1 Los indicadores de la economía ecológica

Con la declaración sobre Medio Ambiente y Desarrollo mejor conocida como Agenda⁴ 21, generada en 1992 en la cumbre de Río de Janeiro, se da el inicio de las discusiones en torno al futuro del agua tanto a nivel internacional, como nacional y local, de hecho el informe enfatizó la necesidad de definir indicadores que den señal de los impactos sobre los recursos naturales y es que en esta época ya se

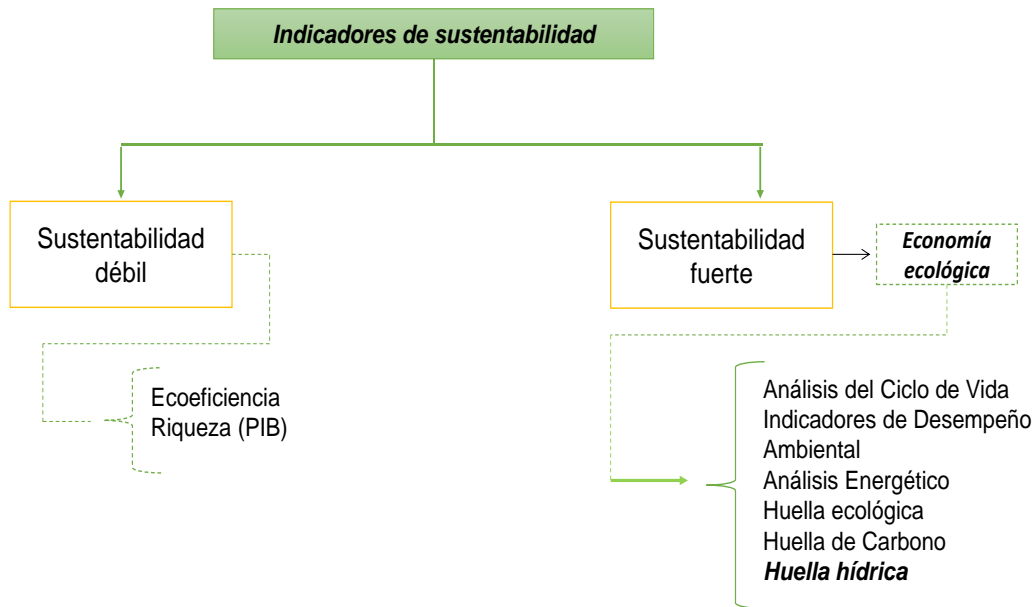
⁴ El capítulo 18 de la Agenda 21 trata específicamente de la protección de la calidad, suministro y aprovechamiento sostenible de los recursos de agua superficial y subterránea que se utilizan tanto para el abastecimiento doméstico como para la producción de alimentos, además en este capítulo se propone la aplicación de enfoques integrales al desarrollo, manejo y uso de los recursos hídricos.

señalaba la importancia de proveer bases sólidas para la gestión integrada de los sistemas ambientales.

En este contexto, surgen una serie de indicadores tanto para la sustentabilidad débil como para la fuerte; en el caso de la primera parte de un enfoque donde todo se expresa en términos monetarios, y para el segundo parte de conceptos usados en la biológica para señalar los límites o umbrales de los sistemas naturales. Entre los indicadores de sustentabilidad débil se tienen el de ahorro real, en este se mide la ecoeficiencia con el fin de reducir el consumo de recursos principalmente no renovables en términos monetarios, un indicador en esta misma línea es el indicador monetario de bienestar entre otros, este par de ejemplos son sustentados por la Economía Ambiental que plantea que el capital natural puede ser sustituido por medio de las innovaciones tecnológicas. Para los indicadores de sustentabilidad fuerte, se tienen los de la huella ecológica, análisis del ciclo de vida, análisis energético, análisis de la capacidad de carga y la resiliencia entre otros (ver figura 1.5), a partir de estos lo que se busca es determinar el consumo de los recursos naturales y su capacidad de recuperación buscando un equilibrio entre el uso y consumo.

En la economía ecológica dentro del indicador de huella ecológica, se deriva el indicador de huella hídrica el cual proporciona una perspectiva diferente del agua, que permite identificar impactos sobre el recurso hídrico a causa de los hábitos de consumo (Argueta, 2018).

Figura 1.5. Indicadores de sustentabilidad dentro del marco de la economía ecológica



Nota: elaboración propia

Dentro de los indicadores de sustentabilidad fuerte y específicamente en la huella ecológica se inserta las bases teóricas y metodológicas de la huella hídrica que tiene como base conceptual a la económica ecológica, que plantea que el capital natural no se debe reducir, en la medida de lo posible y que no son sustituible por las innovaciones tecnológicas (Rendón, 2015).

Para finalizar esta revisión de la sustentabilidad y los indicadores, se evidencia que no existe una línea recta que originó la noción, sino más bien se ha ido formando a partir de varias visiones y es que la reflexión evidencia todo un abanico de posibilidades o grados donde se insertan diferentes corrientes de pensamiento ambiental. En este sentido, resulta difícil tratar de definir un solo marco de la sustentabilidad por el hecho de que es un paradigma generado a partir de la contribución teórica y metodológica de diferentes disciplinas, como consecuencia, los problemas ambientales pueden ser abordados con diferentes corrientes teóricas y herramientas, sin embargo, sí debemos considerar la importancia de siempre estudiar los fenómenos ambientales desde una visión sistémica y un pensamiento holístico. En los siguientes apartados, se presenta un análisis del estado de la

cuestión de los conceptos de interés: Huella hídrica agrícola, el comercio de agua y el estrés hídrico, y al finalizar el apartado se estudia las tendencias de crecimiento de los cultivos de aguacate y fresa que son los productos agrícolas estudiados en el presente estudio.

1.4 Análisis de la producción agrícola intensiva de aguacate y fresa

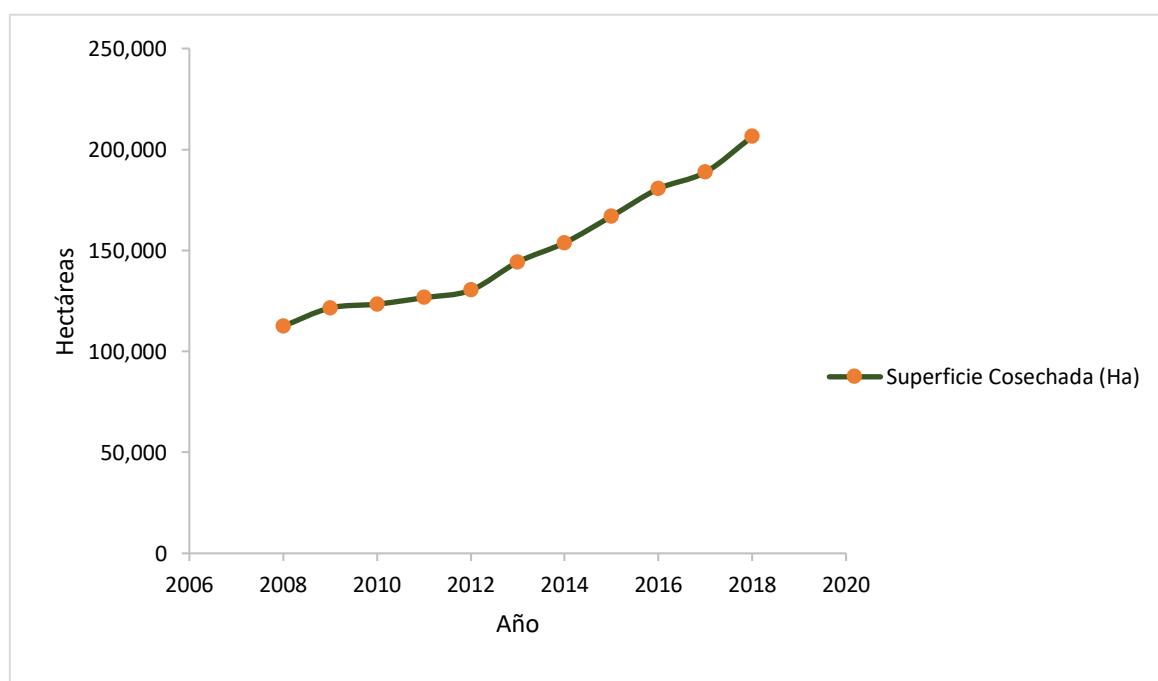
Desde hace ya más de una década la tendencia en México ha favorecido las condiciones para reconfigurar la producción agrícola, y pasar de una producción agrícola tradicional a una no tradicional (por ejemplo las frutas tropicales como el aguacate, y la fresa) que tiene una mayor competitividad en los mercados internacionales, y es que se presupone que el desarrollo económico depende de los altos niveles de competitividad, y para ello la participación activamente en el comercio internacional es una forma potencial de crecimiento. Se reconoce, que, para lograr la competitividad internacional, el gobierno mexicano ha promovido una serie estrategias y acciones entre las que destaca, la priorización de proyectos productivos dirigidos a satisfacer las necesidades de los consumidores nacionales y extranjeros; esto apunta una nueva política enfocada a los sectores estratégicos que tienen alta capacidad de competir en el exterior.

La promoción de este tipo de agricultura eminentemente implica al plano regional que es donde principalmente se desarrollan las actividades agrícolas a esta escala. En este sentido, México ha promovido la competitividad en la agricultura intensiva en regiones que presentan cierto potencial explotable. Para ello, ha echado mano de los gobiernos estatales y municipales, los cuales a su vez se ha unificado con instituciones como la secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA ahora SADER) para realizar estudios sobre el potencial que tienen ciertas regiones (Herrera, 2017. pág. 20). En este caso el aguacate y la fresa se han convertido en las últimas décadas en los cultivos favoritos para sembrar y ello ha contribuido a su expansión por el territorio mexicano, para dar una idea de ello en el siguiente apartado se evidencia la expansión de estos por el país.

1.4.1 Panorama de la producción de fresa y aguacate en México

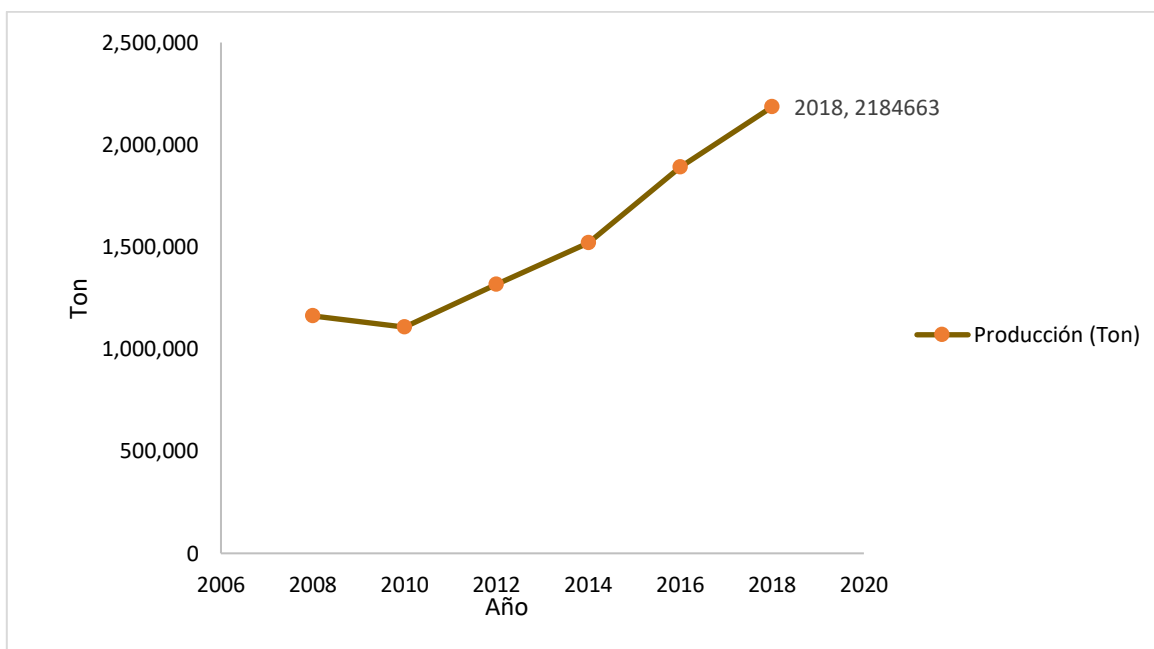
Para contextualizar el cuadro de la producción de estos cultivos, se inicia la reflexión refiriendo que de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), México es el primer productor mundial de aguacate, su producción simboliza más del 30% de la cosecha mundial, y el tercer productor de fresa a nivel mundial previendo al mercado internacional con un 14.83% del valor de las exportaciones. Estos cultivos se han posicionado en el mercado a raíz de su gran valor comercial, lo que ha dado como consecuencia su crecimiento exponencial en la última década, para ubicar las tendencias de expansión del aguacate y la fresa ver los figuras 1.6 y 1.7, en ellos podemos observar que para ambos cultivos en una década se ha duplicado la superficie cosechada y la producción, esta situación nos exporta a manifestar que este incremento exponencial en estos cultivos se debe a las estrategias del gobierno mexicano e instituciones que las respaldan, ya que estos cultivos son atractivos para los mercados internacionales por su alto valor agregado.

Figura 1.6. Tendencia de crecimiento de superficie sembrada (ha) de aguacate en México



Nota: elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT

Figura 1.7. Tendencia de crecimiento de la producción del cultivo de aguacate en México



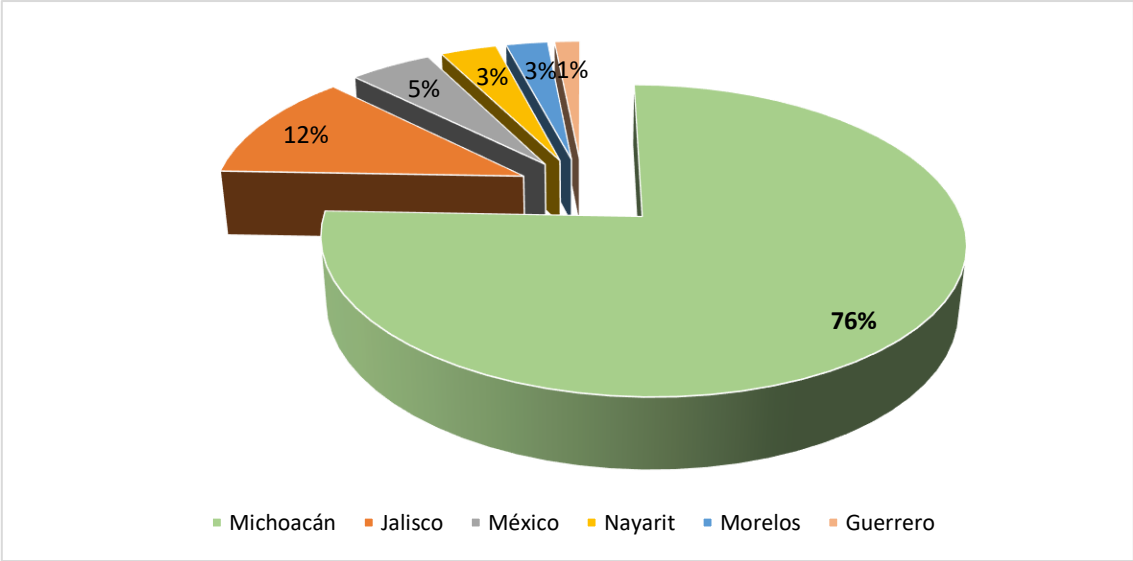
Nota: elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT

Para el cultivo de aguacate se pasó de tener una superficie sembrada en el país en 2008 de 112,479 (ha) a 206,389 (ha) en 2018, estas cifras evidencian que en diez años aumentó un 46% ver figura 1.7 (a), respecto a la producción de este fruto tropical se pasó de 1,162,429 (ton) en 2008 a 2,184,663 (ton) en 2018, lo que significa un aumento del 47% ver figura 1.8 (b). con un valor de 41, 908,121 pesos, de este total de producción, Michoacán sembró más del 70% con un total de 166,603 (ha), lo que significa que es el mayor productor de este fruto tropical a nivel nacional.

Respecto al mercado que tiene este cultivo agrícola es el extranjero en mayor proporción a partir de 32 empresas empacadoras, para el mercado nacional la fruta se distribuye a través de las centrales de abasto y las tiendas de autoservicio, y para el mercado de exportación, dichas empacadoras colocan en las diferentes fronteras los contenedores con la fruta, en el caso de los Estados Unidos y Canadá, mientras que para Europa y Japón los contenedores son transportados hasta los puertos de embarque (PRNSPA, 2012, pág. 20).

En México la siembra de aguacate tiene lugar en 13 estados, sin embargo, las entidades que mayor superficie establecida tienen de acuerdo con las estadísticas del SIAP actualizadas al año 2018 son: Michoacán, Jalisco, México, Nayarit, Morelos y Guerrero como se muestra en la figura 1.8.

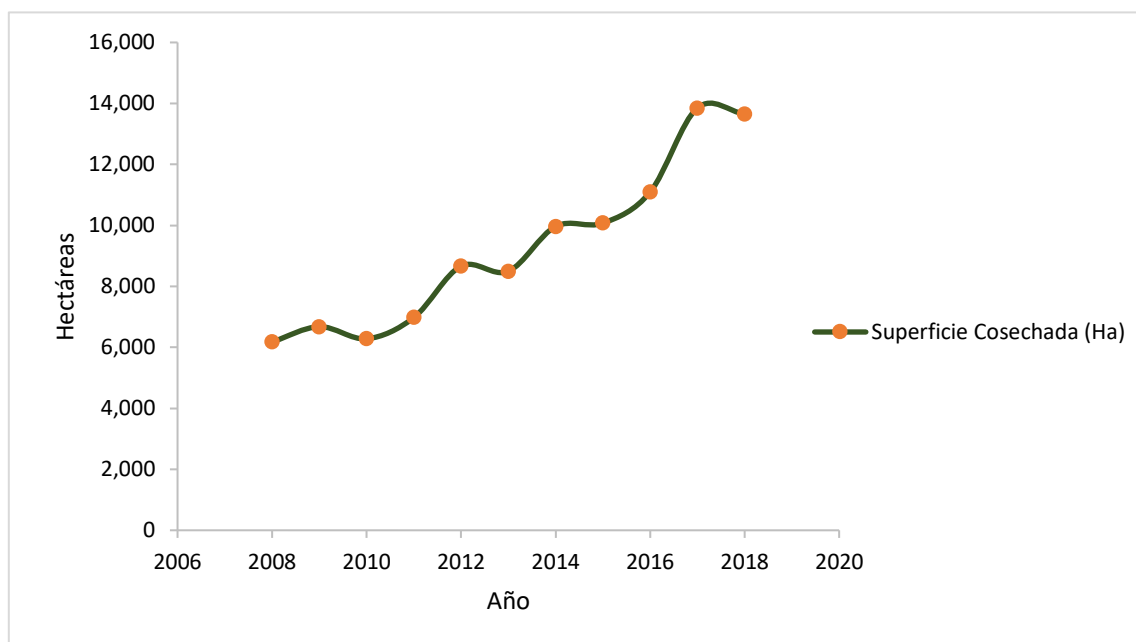
Figura 1.8. Porcentaje de siembra de los Estados con mayor superficie de aguacate en México



Nota: elaboración propia a partir de estadísticas del SIAP, 2020.

Respecto a la tendencia de crecimiento del cultivo de fresa, las estadísticas evidencian una situación muy similar a la del aguacate, si observamos las figuras 1.9 y 1.10 desde el año 2008 la superficie cosechada y la producción no se han detenido y van en aumento, de tal manera que se pasó en una década de 6,175 a 13,652 ha de superficie cosechada, lo que significa que tuvo una tasa de crecimiento en este periodo de tiempo del 55%, respecto a la producción del cultivo se pasó de 207,485 a 653,639 ton estas cifras evidencian que la fresa tuvo una tasa de crecimiento de 68% en una década.

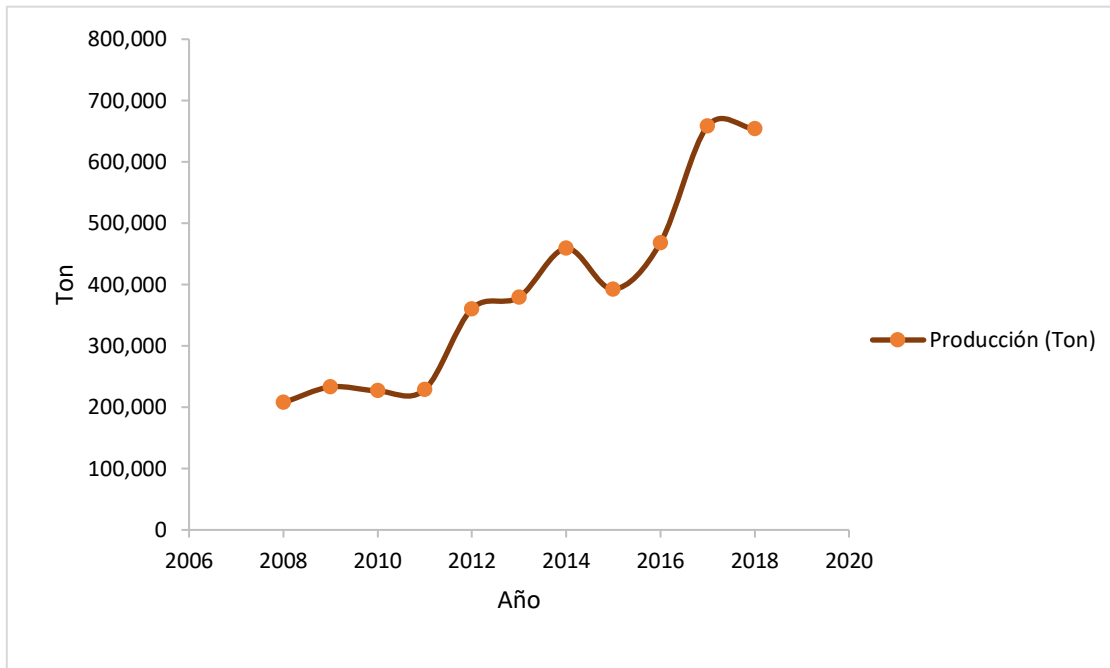
Figura 1.9. Tendencia de crecimiento de superficie sembrada (ha) de fresa en México



Nota: elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT

Continuando con el cultivo de fresa, la superficie establecida en el país se encuentra en 7 estados, sin embargo, los de mayor producción de acuerdo con los datos del ciclo agrícola del año 2018 del SIP son: Michoacán, Baja California, Guanajuato. Es relevante referir que Michoacán aportó el 70% de la producción. Colocándolo nuevamente en el primer lugar en la producción de este fruto rojo. La rápida expansión de estos frutos agrícolas por la entidad se ha fincado en buena medida a la derrama económica que generan lo que ha permitido que el valor de producción del estado sea de los más importantes en el país, aunado a lo anterior la región tiene las características climáticas para el desarrollo y goza de una riqueza ecosistémica que facilita el desarrollo de estos frutos.

Figura 1.10. Tendencia de crecimiento de la producción de fresa en México



Nota: elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT

Las estadísticas agrícolas, demuestran que el impulso por este sector agrícola se ve impulsado tanto por el aparato gubernamental como por el sector privado y es que su alto valor agregado convierte al cultivo de fresa y aguacate en atractivos productos agrícolas. Para detallar más la afirmación anterior, México ha destacado en el contexto internacional por la extensión de tierras destinadas a la producción lo que da como resultado un potencial competitivo internacional. En este sentido, se ha registrado un aumento exponencial tanto en la superficie sembrada como en los volúmenes de producción desde hace por lo menos una década, y es que se ha venido gestando desde las instituciones gubernamentales en concordancia con los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo y el sector privado, el diseño de acciones y programas encaminados a posicionar en los mercados nacionales e internacionales el aguacate y la fresa Herrera (2017). Por ejemplo, en Michoacán en el caso del aguacate se creó un “*Plan de trabajo 2011 para la exportación de aguacate de México a los Estados Unidos de América*” con ello el cultivo sólo puede ser exportado previa certificado por el programa de Sanidad Vegetal (De la Tejera & Santos, 2012).

Aun cuando la parte institucional tiene injerencia en este tipo de cultivos agrícolas, también la parte privada está directamente vinculada prueba de ello la Asociación de Productores Empacadores y Exportadores de Aguacate de Michoacán (APEAM) que en conjunto con los productores coordinan las exportaciones. En el caso de la fresa es impulsada por organizaciones y empresas trasnacionales como la empresa Driscoll's.

Sabiendo que la tendencia de crecimiento del aguacate y la fresa evidencian un aumento, es de importancia referir que estos cultivos agrícolas están dotados de grandes volúmenes de agua para su producción; ante ello, las políticas o estrategias encaminadas a este sector han venido generando, la creación de mercados de agua y procesos de privatización en la gestión hídrica que tienen como objetivo promover la eficiencia económica en la explotación de este vital líquido.

Ante este contexto referimos, el estudio de Peniche y Ávila (2012) sobre los procesos que generan la apropiación de reservas de agua en el valle agrícola de Zamora por el mercado de Frutillas, en donde demuestran que la política pública de la gestión del agua en el sector agrícola en México se basa precisamente en la sobreexplotación de las reservas de agua de la región, como instrumento gratuito para el cultivo de frutillas de exportación, esto constituye una formidable ventaja competitiva para el producto. En esta misma situación se encuentran los municipios de Acuitzio, Huiramba, Lagunillas y Morelia a raíz del incremento de estos cultivos agrícolas, situación que de acuerdo con el supuesto de investigación del presente estudio generan una vulnerabilidad hídrica, ocasionada por el crecimiento exponencial de este tipo de cultivos y que a su vez hace que la población quede expuesta ante la falta de este recurso en cantidad y calidad necesaria para el consumo humano.

1.4.2 La expansión de aguacate Michoacán

La incorporación de aguacate tipo Hass en Michoacán tiene sus inicios en los últimos años de la década de los 60's cuando empresario de la Ciudad de Uruapan entraron en el negocio e introdujeron injertos de dicha variedad (está procedía de

California, Estados Unidos) con el fin de establecer las primeras huertas comerciales en propiedades privadas y en terrenos ejidales (Herrera, 2017, p. 36). Una década más tarde en la región se define la variedad óptima de acuerdo con el contexto ecológico e inicia en los años 70 la producción aguacatera con ello se comienza a transformar la economía y la estructura social de la región de Uruapan y lugares aledaños. Una progresiva demanda nacional de aguacate michoacano estimuló el desarrollo de la industria, alentando a nuevos empresarios a volverse productores. Con ello inicia la fiebre del aguacate, lo que ocasionó la instalación de huertas de este fruto tropical en lugar de bosque de pino y encino. En este periodo se registró el aumento de la superficie sembrada de aguacate en los municipios de: Tancítaro, Nuevo San Juan Parangaricutiro, Ziracuaretiro, Tingambato, Villa Escalante y Ario de Rosales. Cabe destacar que el aumento desde ese periodo y hasta la fecha ha estado asociado al rendimiento del fruto tropical y al buen precio que este podría ofertar dentro del mercado nacional, convirtiéndolo en un producto rentable.

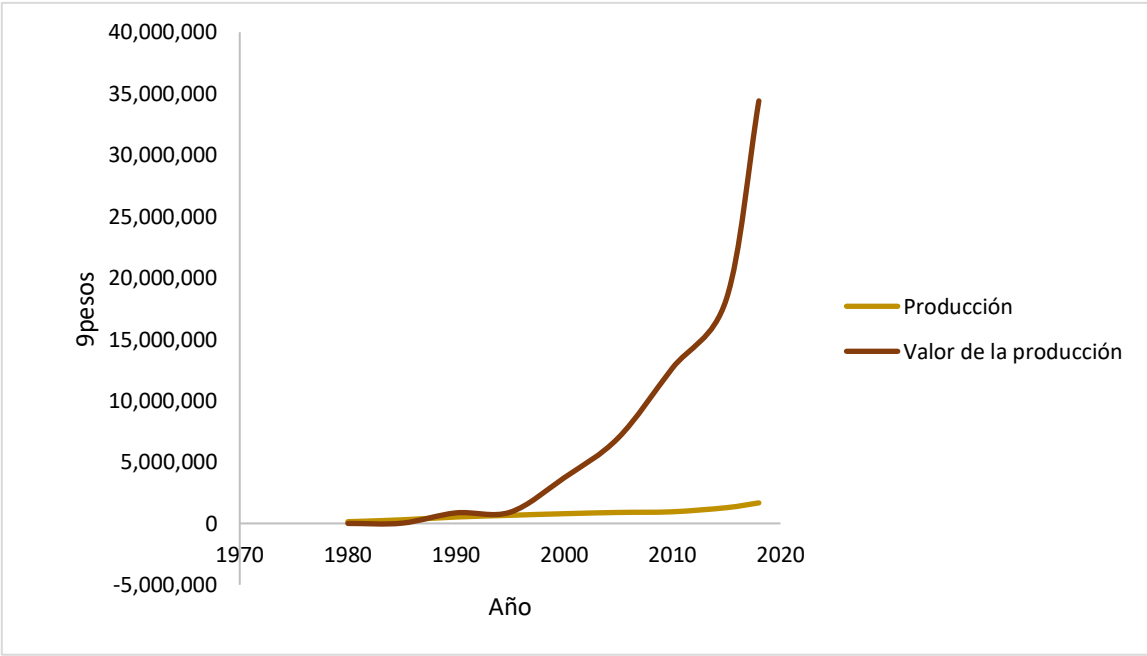
La rentabilidad del aguacate hizo que su producción aumentará rápidamente, pasando en 1970 de 40,046 (ton) a 141,221 (ton) en 1980, para este último año los productores y empacadores michoacanos lograron insertar aguacate en el mercado europeo por primera vez. Por lo que su producción aumentó aún más registrando en 1988 un total de 475,116 (ton) de aguacate en todo el Estado.

Aunque se vislumbra un crecimiento en el periodo de principios de los noventa se presentó un estancamiento en la producción, debido a las barreras fitosanitarias que impedían su comercialización principalmente al país norteamericano. Con ello inicia una serie de negociaciones que terminan en 1997 con la modificación del USDA/APHIS (Servicio de Inspección Animal y Vegetal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos). A partir de la resolución se condescendió la importación de aguacate Hass proveniente del estado de Michoacán, pero únicamente de cuatro municipios certificados (Uruapan, Peribán, Tancítaro y Salvador Escalante)) y únicamente durante los meses de noviembre a febrero de

cada año. La comercialización directa estaba permitida en 19 estados de la Unión Americana (De la Tejera & Santos, 2012).

Con la eliminación de la barrera para la exportación de aguacate a los Estados Unidos, se vino un crecimiento muy notable en la producción, esto también generó a su vez un aumento en el valor del fruto tropical (véase figura 1.11). Las estadísticas demuestran que en las últimas tres décadas la producción aumentó un 92% en los últimos treinta años, además también se puede verificar que el valor de la producción aumentó en treinta años un 100%, lo que convierte al aguacate en un fruto atractivo para su siembra. En consecuencia, el estado de Michoacán se ha convertido en la zona aguacatera más importante del mundo, la cual es responsable de algunas de las mayores fortunas de la entidad, pero es también fuente inagotable de conflictos sociales por el acaparamiento de tierras, la deforestación de los bosques y el despojo de agua para el riego de este cultivo (Zepeda, 1988, pág.17).

Figura 1.11. La producción y su fluctuación del valor de producción de aguacate en las últimas tres décadas en Michoacán



Nota: elaboración propia a partir de (SIAP, 2018)

Aunado al crecimiento exponencial en la producción y el valor de aguacate, se suma un aumento en las exportaciones principalmente a Estados Unidos, para constatar

la afirmación anterior basta revisar el cuadro 1.4 en donde se evidencia que de 1997 al 2000 el volumen exportado en promedio no rebasaba las 10 toneladas anuales. Sin embargo, esta tendencia cambia radicalmente, y para el 2009 se muestra un panorama completamente distinto, debido a que los periodos de exportación se comenzaron a realizar durante todo el año, esto trajo como consecuencia que el volumen exportado rebasa las trescientas mil toneladas. Cabe destacar que, para este periodo, México comercializaba ya el 40% del total de volúmenes del mercado internacional de aguacate y ocupaba por ello el primer lugar como país exportador.

Cuadro 1.4. Exportaciones de aguacate en EUA provenientes de Michoacán

Año	Periodo	Municipios certificados	Estados permitidos en E.U. A	Volumen exportado (Ton)
1997	Nov-Feb	4	19	6,032
1998	Nov-Feb	4	19	9,768
1999	Nov-Feb	4	19	12,168
2000	Nov-Feb	5	19	10,221
2001	Oct-Mar	5	32	24,477
2003	Oct-Mar	-	-	42,67
2009	Todo año	12	-	307,601
2018	Todo año	-	-	915,206
2019	Todo año	-	-	966,368

Nota: (Plan Rector Sistema Nacional Aguacate, 2005 y Estadísticas de InfoHass)

Un aspecto relevante que se suma al reflexionar sobre el panorama del aguacate en Michoacán, es la especialización en la producción de este fruto tropical, aquí hablamos de que el estado no sólo acapara gran parte del volumen de la producción, sino que también al interior del estado sucede una situación similar ya que existe una región específica que es donde se ha expandido denominada “*Meseta Puhépecha*”, esta franja aguacatera en un primer momento estaba conformada por 22 municipios productores, sin embargo, al analizar los datos de 2018, se evidencia una concentración de este fruto tropical en 10 municipios donde se genera el mayor volumen de producción (ver cuadro 1.5) reuniendo entre ellos el

76% del volumen de producción y el 82% del valor de la producción (pesos) de todo el estado.

Cuadro 1.5. Municipios de Michoacán con mayor volumen de producción y valor de producción de aguacate en el año de 2018

Municipio	Producción (Ton)	Valor de la producción (pesos)
Tancítaro	237,435	4,960,280.89
Salvador Escalante	182,929	3,907,020.96
Tacámbaro	180,463	3,367,481.22
Uruapan	176,542	3,850,029.06
Ario	173,511	3,576,653.60
Peribán	142,975	3,090,518.02
Nuevo Parangaricutiro	78,695	1,585,265.74
Los Reyes	66,696	1,401,069.62
Tingüindín	60,264	1,250,343.29
Turicato	55,046	1,055,318.21
Total	1,275,940	28,043,980.61
Otros municipios	398,915.35	6,361,195.36
Total	1,674,855.04	34,405,175.97

Nota: Elaboración propia a partir de estadísticas del SIAP, 2018

El incremento de área dedicada al cultivo se ha extendido en Tancítaro, Salvador Escalante y Tacámbaro. Resulta interesante y preocupante enfatizar que, en estos municipios, se ha pasado de una agricultura tradicional de siembra de granos de maíz a una agricultura intensiva dedicada a la producción de aguacate, lo que ha generado una especialización y una fuerte dependencia por variables externas que determinan las condiciones de los mercados nacionales e internacionales; a esto hay que sumarle el cambio de uso de suelo que trae consigo pérdida de biodiversidad productiva y ecológica. En este contexto, el agua está envuelta en este escenario al ser un insumo importante en la producción de este fruto tropical lo genera una relación del recurso hídrico con este sector fracturada al entender al agua como un bien económico y no como un bien ecosistémico.

1.4.3 La expansión de la fresa en Michoacán

Continuando con la reflexión del apartado, toca hacer referencia a la fresa, la búsqueda de información documental refiere que el cultivo de este fruto rojo inicia a mediados del siglo pasado en el estado de Guanajuato. Sin embargo, al cobrar importancia por la demanda de los EE. UU, originó que el cultivo se extendiera a Michoacán. El cultivo de fresa en Michoacán se basa en variedades extranjeras, provenientes de la Universidad de California, Estados Unidos.

En el Estado la principal zona agrícola de la fresa es el valle de Zamora y sus inicios se remontan al ciclo de cultivo de 1952 a 1953, cuando se sembraron aproximadamente 11 hectáreas, posteriormente en el ciclo agrícola de 1955 a 1956 ascendió a 132 (ha), y en la época de los 70 llegó a las 4,000 (ha) y de aquí hasta llegar a convertirse en el centro productor de fresa en el país.

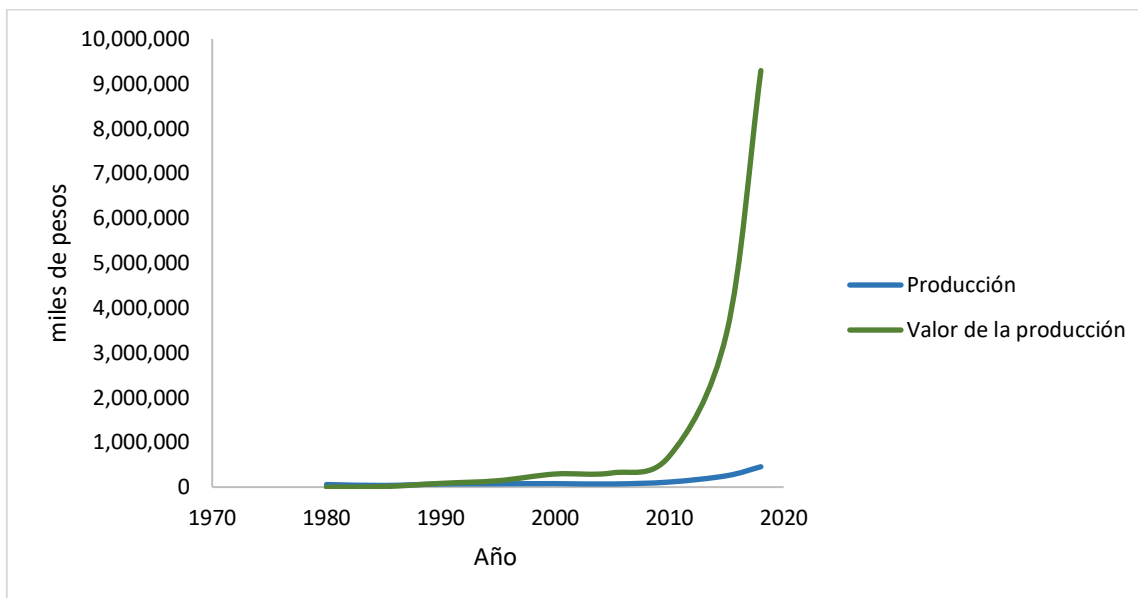
Este cultivo generó un fuerte impacto modificador de las condiciones económicas de la región, creando un dinámico desarrollo del capitalismo agrario, al que se acompañó la creación de una importante zona económica. El impulso de este cultivo fue provocado por la inyección de capital foráneo, grandes empresas transnacionales; siendo las más representativas (La Griffind and Brand y la Hand). Las empresas transnacionales impactaron profundamente en la expansión del cultivo en esta región en los años setenta, logrando en pocos años la especialización productiva agrícola y modificando rápidamente el patrón de cultivos (Sánchez, 1991. pág. 34).

Con el cultivo de la fresa en Zamora, surge una industria dedicada a la conservación y transformación de esta fruta; la función principal de esta industria es lograr la intermediación entre los productores y los distribuidores que son principalmente Estados Unidos, a través de empresas transnacionales. Esto da cuenta que el proceso de producción de la fresa fue impulsado por transnacionales; ante ello florece una agricultura para el mercado externo, dominada mayormente por estas empresas que son las que penetran a través de inversiones directas en el campo,

con la propiedad de las agroindustrias o con el solo control de los mercados, sometiendo a los productores nativos a sus intereses (Sánchez, 1991. pág. 45).

Como se auguraba buenas ganancias, la producción de la fresa en los años sesenta comenzó a expandirse a otros municipios del estado, estableciéndose en este periodo en Jaconá, años más tarde se introdujo en la región de Panindícuaro, así como en el Valle de Maravatío destacando en el Ejido de Tungareo. Si bien Michoacán ha mostrado un movimiento fluctuante en la producción, respecto a esto podemos verificarlo en el figura 1.12, en donde se muestra como en los noventas los volúmenes estuvieron arriba de las 50 000 (ton), alcanzando incluso niveles como el de 1995, cuando se produjeron 73, 000 (ton), mientras que la tasa de crecimiento promedio anual fue de 2%, entrando el nuevo siglo los volúmenes se comportaron más o menos similar al periodo de los noventas, fue hasta el año 2010 que el volumen ya rebasó las 100,000 toneladas, con una tasa de crecimiento promedio anual del 3%. De este año en adelante el volumen continuó incrementando, llegando a 2018 con una producción mayor a las 400,000 (ton), para este periodo se tuvo una tasa de crecimiento promedio anual del 37.5% la mayor en la historia de la producción de fresa en el Estado de Michoacán. Aunado a lo anterior, se estima que aproximadamente el 95% de la producción se exporta.

Figura 1.12. Fluctuaciones de la producción y el valor en los mercados de fresa en los últimos treinta años



Nota: elaboración propia a partir de estadísticas del SIAP

En la actualidad el cultivo de la fresa tiene presencia en 31 municipios del estado, las regiones con mayor producción se muestran en el cuadro 1.6 la cual evidencia que desde 1950 y hasta la fecha la región de Zamora se posiciona en primer lugar con una producción que rebasa las 140,000 mil toneladas con un valor de producción de más de 3 mil millones de pesos. Sin embargo, se debe destacar que Lagunillas y Morelia municipios en la zona de investigación se encuentran entre los primeros diez municipios productores de fresa. Es importante referir que el cultivo de fresa en estos municipios es relativamente nuevo y data de 2014 a la fecha, sin embargo, su expansión va en aumento.

Cuadro 1.6. Principales municipios productores de fresa del estado de Michoacán en el año 2018

Municipio	Producción (Ton)	Valor de la producción (pesos)
Zamora	147,347	3,318,128.25
Tangancícuaro	78,208	1,351,809.48
Ixtán	51,938	1,138,186.90
Jacona	53,636	1,269,066.28

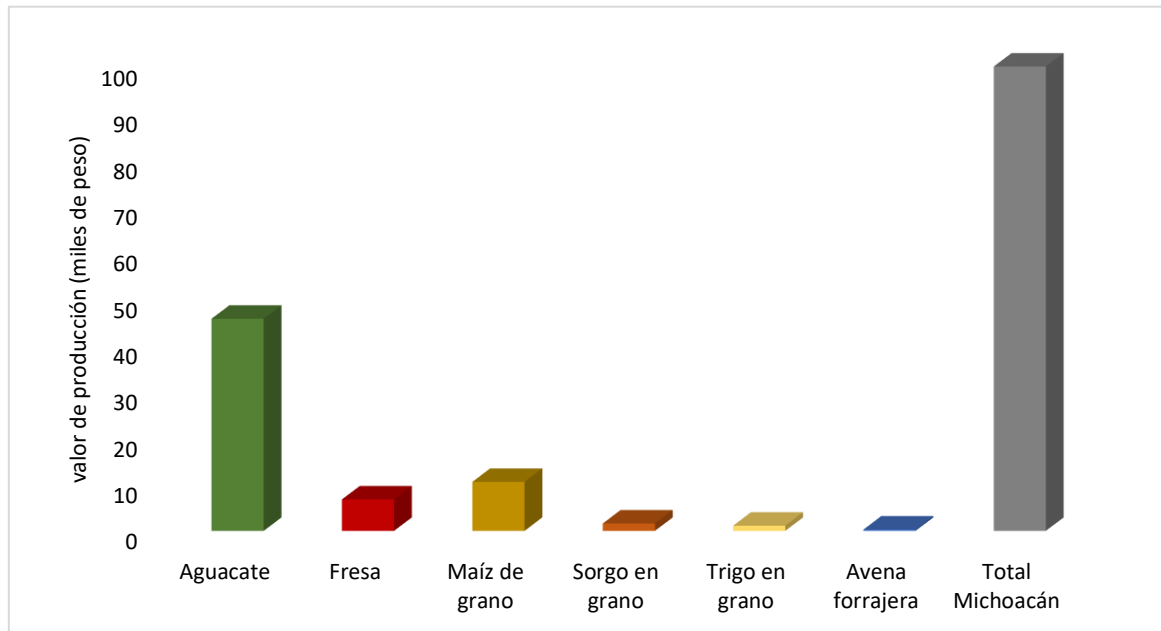
Municipio	Producción (Ton)	Valor de la producción (pesos)
Panindícuaro	20,715	296,321.55
Maravatío	10,142	128,957.38
Chilchota	18,708	345,955.90
Morelia	13,094	324,606.77
Lagunillas	9,999	197,371.26
Angamacutiro	9,791	126,282.16
Total	413,578	8,496,685.93
Otros municipios	41,380.46	795,574.76
Total	454,958.46	9,292,260.69

Nota: Elaboración propia a partir de estadísticas del SIAP (2018)

Es importante resaltar que el crecimiento de la fresa ha sido exponencial, esto se ha debido en gran medida a que el país ha promovido una serie de políticas públicas encaminadas hacia la consolidación de este cultivo en el sector económico, y es que se tiene la noción de que los productos mexicanos tradicionales son menos competitivos, para ello observemos la figura 1.13, donde se muestra como el valor de producción de la fresa, respecto a los cultivos tradicionales es realmente significativo, aunque no rebasa al aguacate ya que sus ganancias monetarias de este último cultivo representan más del 40% del valor de producción comparado con el total para el año 2020 en Michoacán. Aunque el maíz en grano parece ir dentro del valor de producción de la fresa sucede algo sumamente importante y es que la superficies sembrada del maíz de grano para el periodo señalado fue de 464,809.63 (ha) con un valor de producción de 9,146,052.29 (pesos), mientras que para el cultivo de fresa se sembraron 7,388.17 (ha) con un valor de producción de 5,873,263.13, estas cifras evidencian como el cultivo de fresa se constituye como un producto más rentable a los tradicionales, y es que con apenas un 2% del volumen de producción respecto al maíz, se obtiene un 64% del valor de la producción del maíz de grano. Como resultado de la falta de competitividad de los productos mexicanos tradicionales, se ha apostado por cultivos no tradicionales

como es el caso de la fresa. Un buen ejemplo de lo que pasa en este contexto, se ubica la región fresera del valle agrícola de Zamora, Michoacán, esta región se ha constituido como el primer productor nacional de la frutilla en el país.

Figura 1.13. Comparación del valor de producción de cultivos agrícolas tradicionales y cultivos de la agricultura intensiva “aguacate y fresa” en Michoacán año 2020



Nota: Elaboración propia a partir de estadísticas del SIAP (2020).

Aunado a lo anterior autores como Romero (2002) refieren sobre el valor en los mercados de los productos tradicionales y productos agrícolas intensivos o modernos lo siguiente: *“los países ricos del mundo como los europeos, Estados Unidos de América, Canadá y Australia se transforman en los principales consumidores e importadores de alimentos en escala mundial, reservando a la mayoría de los países pobres el papel de suministradores de productos como hortalizas, frutas, flores y otros productos tropicales, así como de consumidores de sus excedentes alimentarios, principales de granos básicos, oleaginosas, productos lácteos y otros alimentos industrializados”*.

Lo referenciado por Romero, da como resultado que los países en desarrollo se conviertan en productores y exportadores de los alimentos que los países desarrollados demandan. En el caso de los cultivos de aguacate y fresa Michoacán se convierte no solo en exportador de un producto agrícola, sino también en

comercializador de agua, lo que le permite una inserción al mercado mundial, basada en la especialización de la producción en cultivos de alto valor agregado e intensivos en el uso del agua (Peniche & Ávila, 2012).

En consecuencia, “las estrategias de modernización en la agricultura, las formas de privatización del agua y de apropiación del recurso hídrico por medio de su conversión en un insumo-mercancía en el mercado mundial, llevan a dimensionar los procesos de sobreexplotación de las reservas de agua en los países dependientes y así entender la generación de una deuda ecológica” (Martínez, 2004. pág.27) hace una mayor referencia a la deuda ecológica haciendo referencia a esta noción como la expropiación ambiental de los países pobres por parte de países ricos, en donde se genera un intercambio desigual, creciente en la evolución del capitalismo, e inherente a la propia dinámica de este.

En este sentido, en la dimensión ecológica de la deuda, la exportación de productos no incluye en los precios los daños ambientales producidos local o globalmente tanto presentes como futuros; esta deuda sin lugar a duda impacta con mayor fuerza a los grupos sociales más vulnerables principalmente al campesino (Dermott, 2010, pág.130). En lo que respecta al caso de estudio de la presente investigación la deuda ecológica de la producción tanto de aguacate como de fresa, esta expresada en el usufructo privado de la renta hídrica generada en la exportación de estos productos agrícolas.

Capítulo II

Marco metodológico: la vulnerabilidad hídrica y su evaluación con la huella hídrica

El agua es un recurso multifuncional, básico para la vida, pero también es un recurso económico, social y natural. Este vital líquido desde sus entrañas engendra un gran valor por el hecho de ser un elemento central para la vida y para el desarrollo humano y ecosistémico. A pesar de que gran parte de nuestro planeta está cubierto de agua, los recursos hídricos disponibles para el ser humano son limitados y se encuentran distribuidos geográficamente de forma desigual, a ello se suma que como es un bien de primera necesidad para todos los seres vivos se malgasta y se contamina de forma indistinta en los diferentes sectores económicos.

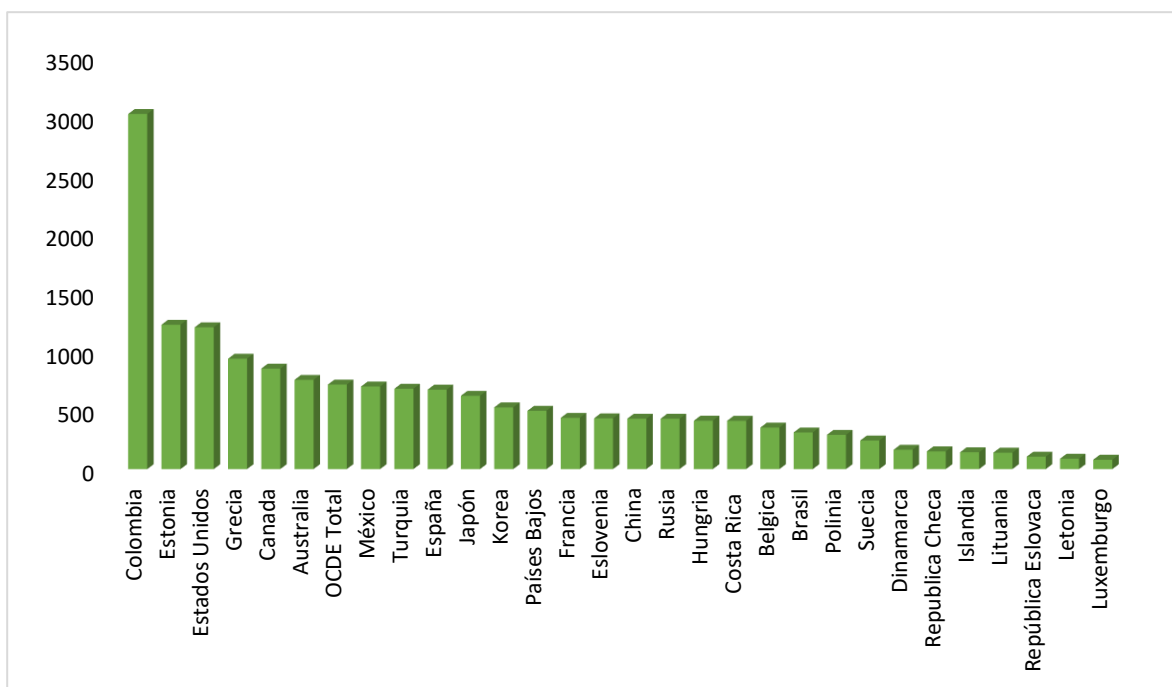
Como los recursos hídricos se distribuyen irregularmente en el espacio y el tiempo, y están bajo presión debido a la actividad humana y el desarrollo económico y social, se estima que hoy en día cerca de un tercio de la población mundial vive bajo algún tipo de estrés hídrico y que esta población podría llegar a los dos tercios en el año 2025 (Mauser, 2010). La escasez de agua afecta a más de 40% de las personas en todo el mundo, una cifra alarmante y que se prevé irá en aumento a causa del incremento de las temperaturas globales como resultado del cambio climático.

Aun cuando la población humana es la más afectada, se tienen sectores que usan indiscriminadamente este recurso, claro ejemplo el sector agrícola través del sistema de riego constituye una de las actividades económicas que mayor presión

ejerce sobre los recursos de agua dulce, y es que se estima que más del 70% de las extracciones de agua dulce se destina a este sector.

Si comparamos la cantidad de agua que empleamos en el aseo personal o directamente para beber, con la utilizada en la producción de alimentos o bienes de consumo, nos damos cuenta de que el nivel de uso de agua en los hogares es muy poco representativo y llega ser tan sólo el 10% del gasto, frente al 70% de la agricultura y el 20% de la industria (tomando los promedios mundiales que se muestran en la Figura 2.1).

Figura 2.1 Países con mayor extracción de agua per cápita



Nota: elaboración propia a partir de datos de la FAO (2018).

Tomando la información de la FAO (2018), la extracción de agua la define como “aquella cantidad de agua dulce tomada de fuentes de agua subterránea o superficial ya sea de forma permanente o temporal, y transportada a un lugar de uso”. Los datos con los que la FAO realiza su análisis incluyen abstracciones para el suministro público de agua, riego, procesos industriales y enfriamiento de plantas de energía eléctrica. Este indicador se mide en metros cúbicos per cápita (un metro

cúbico es el equivalente a mil litros de agua). El análisis de los datos evidencias los países con mayor volumen de extracción y México se posiciona dentro de los diez que mayor extraen agua, si bien es un conteo que incluye los diferentes usos consuntivos si es preocupante evidenciar el gran volumen de agua que se demanda en el país y que principalmente está destinado al uso agrícola, para reafirmar esta reflexión la CONAGUA en sus estadísticas de los usos consuntivos, según el tipo de fuente de extracción del año 2019 refiere que un 75.7% es destinado a la agricultura, un 14.7% al abastecimiento público y el resto a la industria y a la generación de electricidad, a su vez también resulta importante referir que el mayor porcentaje de esta agua proviene de fuentes superficiales que son las que abastecen a este tipo de agricultura intensiva en uso de recursos naturaleza destinada a la exportación la que hace uso de esta exacerbada cantidad de agua en el país. Con base en lo anterior, en el siguiente apartado se hace un análisis conceptual de la vulnerabilidad hídrica para dar soporte al fundamento metodológico que también se incluye en este apartado.

2.1 La relación agua-agricultura intensiva en el contexto de la cuenca hidrológica

Es relevante comenzar la reflexión haciendo hincapié en la complejidad del uso del recurso hídrico en el planeta tierra, y es que este es usado en diferentes procesos que tienen lugar en diferentes lugares y a diferentes ritmos, ya sea en la parte del ecosistema, en las actividades económicas o en la parte social; entonces su estudio requiere de un análisis a diferentes escalas temporales ya que los impactos por su uso no son unidimensionales, sino multidimensionales. Esto significa que para estudiar este líquido vital se requiere un marco de análisis que pueda ser capaz de proporcionar un espacio donde se analicen los diferentes niveles de organización del agua y se conecten con los sistemas humanos, y no trabajar estas dos partes de manera desactualizada como sucede normalmente.

En este sentido, Linton y Budds (2014) plantean que la relación entre el agua y la sociedad (funciones sociales) por lo general se ha estudiado como dos entes separados, dicho esto desde la hidrología que integra el concepto del ciclo del agua

se ha centrado tradicionalmente en el funcionamiento natural de este recurso sobre la superficie de la tierra; una visión técnica que ayuda a legitimar cierta autoridad técnica sobre el agua, de una u otra forma resulta ser una noción ortodoxa basada en puntos de vista occidentales que reducen el agua a su composición material caracterizando los procesos como ordenados y universales.

Aunado a la referencia anterior Gleick (2000) entiende que el enfoque hidrológico es un viejo paradigma, caracterizado por un énfasis en el desarrollo del suministro de agua por parte de las agencias estatales, una visión que entiende al agua como un recurso a explotar ya que es un bien útil. Sin embargo, las circunstancias históricas, hoy en día, sugieren la necesidad de conectar al estudio de los usos del agua la parte de los procesos sociales y es que tal recurso natural solo puede ser modificado o perturbado por el ser humano, lo que significa que éste a través de sus propias acciones, media, regula y controla el flujo del agua entre él y la naturaleza; esto significa que el hombre actúa sobre la naturaleza externa y la cambia, y de esta manera transforma simultáneamente su propia naturaleza en los procesos de control y gestión de este recurso natural (Swyngedouw, 2004).

Al tratar de acoplar la relación entre el agua y la sociedad han surgido una serie de reflexiones para tratar de hibridar estas dos cuestiones en esta búsqueda las reflexiones que han sido más productivas en esta articulación es el agua y el poder social un tema de importancia dada la creciente demanda de este recurso que entiende como las relaciones de poder juegan un rol importante en la determinación de cómo la naturaleza se transforma, y es que el uso y la gestión del agua se envuelven en una serie de atribuciones que generan que éste recurso se concentre en una función social, lo que a su vez ocasiona designaciones de agua desiguales entre los diversos usos del agua. Por esta razón, las preguntas principales son: ¿Quiénes explotan el recurso?, ¿Bajo qué regímenes? y de acuerdo ¿Con qué argumentos?, ¿Cuáles son los cambios y quiénes se benefician? (Budds, 2012).

En este contexto, se debe entender que el agua es un recurso limitado y que tiene diversas funciones por un lado las personas necesitan un cierto volumen de agua para fines domésticos, y por otro lado los sectores económicos como agrícolas e

industriales, sin embargo, su uso no debe de exceder la tasa de reposición natural. En la actualidad esta situación no sucede de esa forma y es que se está rebasando la capacidad natural del ciclo de renovación de agua dulce. Ante este escenario, resulta relevante hacer la pregunta de ¿Quiénes son los mayores consumidores de agua?, si es un recurso que tiene múltiples usos, uno de los sectores que más demanda agua es la agricultura intensiva con fines de exportación.

Este sector agrícola representa claramente una transformación del pequeño agricultor o campesino a un tipo de sistema de agricultura intensiva y es que la racionalidad de producción y apropiación de los recursos naturales es diferente para ambos. En este sentido, Toledo (1999) refiere que estos dos modos de producción representan dos maneras radicales de concebir, manejar y utilizar la naturaleza, son pues dos modos no sólo diferentes en rasgos, sino distintos en origen. El modo de producción del pequeño agricultor tiene sus raíces en la especie humana y en el proceso de coevolución que ha tenido la sociedad donde la satisfacción de las necesidades del cultivo depende exclusivamente de los servicios que brinda los ecosistemas locales. Mientras que para la agricultura intensiva la apropiación de la naturaleza es su base, sin importar el origen, y es que su propuesta proviene del mundo urbano-industrial diseñado para generar alimentos, materias primas y energía en los enclaves no rurales del planeta. Con la apropiación de la naturaleza por parte de este tipo de agricultura se generan severos daños ambientales causados principalmente por la transformación de los agroecosistemas (García et al.,2008).

El mismo autor, manifiesta que el sistema de agricultura intensiva se relaciona con la naturaleza de forma distinta, y su impacto a la misma es otra ver cuadro 2.1. Aunado a esta serie de elementos que diferencian un modo de producción del otro, se debe distinguir que éstos a su vez tiene diferentes criterios que los diferencia uno del otro, Toledo, enuncia nueve atributos, energía, escala, autosuficiencia, fuerza de trabajo, diversidad, desechos, conocimiento, cosmovisión.

Cuadro 2.1. Racionalidades contrastantes en el modo de producción del pequeño agricultor y del sistema agrícola moderno

Modo de producción pequeño agricultor	Modo de producción agrícola moderna
Producción para el consumo	Producción para el intercambio
Predominancia del valor de uso	Predominancia del valor de cambio
Reproducción de los productores y la unidad reproductora	Maximización de la tasa de ganancia y la acumulación de capital
Basado en el intercambio ecológico (con la naturaleza)	Basado en el intercambio económico (con el mercado)
“Ecosystem people”	“Global people”
Relaciones sacralizadas con la naturaleza	Relaciones seculares con la naturaleza

Nota: (Toledo, 1996)

Es importante esta distinción que realiza Toledo para diferenciar un tipo de agricultura de otra, sin embargo, en los últimos tiempos los pequeños agricultores han tendido a cambiar o en su caso se han visto forzados a cambiar sus cultivos tradicionales por los que el mercado demanda, esto ha generado el cambio de las prácticas agrícolas.

Asegurar el agua para la industria de exportación basada en los recursos naturales como es el caso de la agricultura de exportación de aguacate y fresa, significa garantiza el acceso de derechos permanente, libres de impuestos y relativamente libres de regulación estatal, es claro que desde los aparatos gubernamentales el objetivo de la incentivación de este sector es para fomentar el crecimiento económico, pero al entender al agua desde los valor económico su gestión atiende el principio económico de escasez, donde se debe lograr un uso eficiente del recurso en términos productivos (Budds, 2020). Sin embargo, considerar el agua como un insumo económico sin contemplar las funciones sociales y culturales lo desmaterializa de su dinámica y lo convierte en un recurso por el cual se compite y se pelea por su acceso y uso.

La presente investigación aborda el tipo de agricultura intensiva, y es que la producción de aguacate y fresa se ha convertido en un sistema agrícola altamente especializado, donde el consumo de insumos como el recurso agua es bastante

elevado, además de que hace uso de fertilizantes químicos y reguladores de crecimiento para aumentar la productividad, siendo este uno de sus objetivos principales, lo que ha venido ocasionando deterioro de los ecosistemas y los recursos naturales como: la calidad y cantidad de agua, pérdida de biodiversidad, erosión en los suelos, cambio de uso de suelo, disminución del rendimiento de mismo (Villafán et al., 2007).

Por otra parte, en esta relación del agua-agricultura intensiva, se generan una serie de relaciones sociales en un espacio territorial que para estudiar en su conjunto estas interrelaciones se agrega a la discusión la noción de cuenca hidrográfica. El concepto de esta fue desarrollado por los geógrafos para describir, identificar y clasificar porciones de la superficie terrestre en la que ocurren partes del ciclo del agua. Dentro de los orígenes del concepto de cuenca hidrográfica se encontró la referencia francesa de “bassin (Hydrographic)” la cual fue formulada a mediados del siglo XVIII por Philippe Buache, este geógrafo propuso la existencia de una estructura o armazón de grandes cadenas montañosas, y otras de tamaño medio las que denomino respaldo, de esta estructura es que se desprende un primer acercamiento al concepto la teoría de las cuencas fluviales que es el primer acercamiento a esta postura (Melville, 1997).

A raíz de esto, en el siglo XX, el concepto descriptivo de cuenca fluvial es adoptado por los especialistas en hidráulica y, por los políticos. Se argumenta que una de las oportunidades del concepto de cuenca hidrográfica está relacionado con la oportunidad tecnológica que se abrió en este siglo, el cual generó un mayor potencial de los afluentes para diversos usos, entre estos la generación de electricidad que hizo pensar que el agua podía ser utilizada para varios propósitos. Aunado a lo anterior en este periodo el concepto también se relacionaba con el aprovechamiento integral y múltiple de los recursos hídricos.

Después de esta breve descripción de los orígenes se procede a definir el término encontrando dos nociones que a partir de la revisión bibliográfica se logró diferenciar “*cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica*” En el caso de la cuenca hidrográfica “se define como el espacio geográfico que contiene los escurrimientos

de agua y que los conduce hacia un punto de acumulación terminal, mientras que una cuenca hidrológica se suele entender como una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrológica” (Carabias, 2005, pág.45). Cabe destacar que la Ley de Aguas Nacionales utiliza ambos términos en el mismo sentido, para el efecto de esta investigación entenderemos los términos como semejantes.

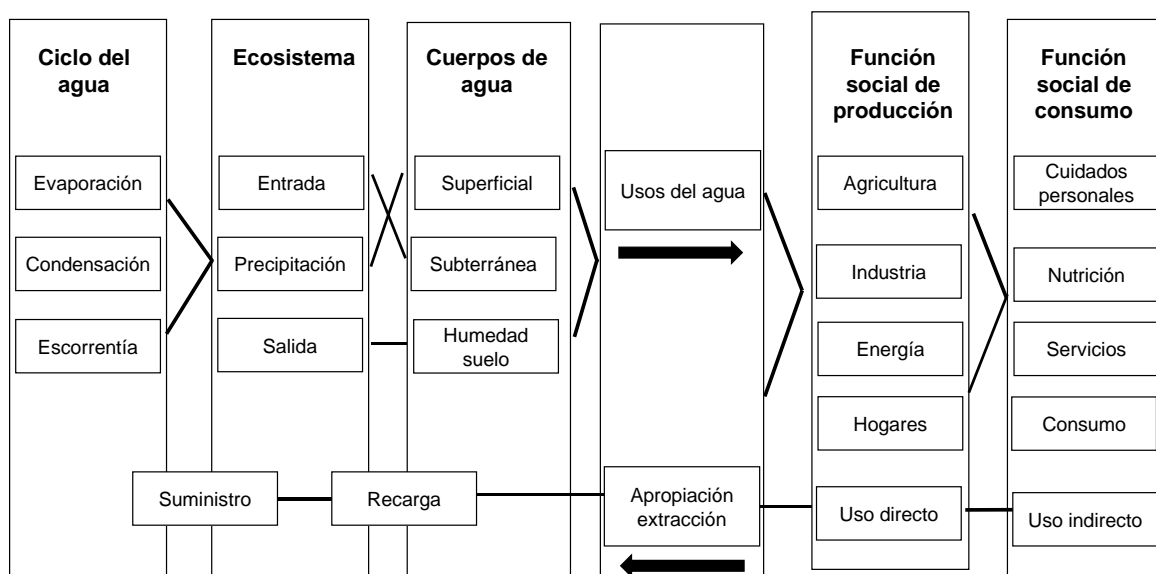
Bajo el siguiente entendido, la Ley de Aguas Nacionales, define a la cuenca hidrográfica o hidrológica como “la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por un parte aguas o divisoria de las aguas aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad, en donde ocurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboquen en el mar. En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con éstos y el medio ambiente. La cuenca hidrológica, junto con los cuerpos de agua superficiales y los acuíferos subterráneos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos. La cuenca hidrológica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas están integradas por microcuencas” (LAN, 2020, pág. 3)

Tomando de referencia las diferentes definiciones de cuenca hidrográfica nos atrevemos a decir, que más allá de ser un vaso contenedor de agua con fines administrativos, es un espacio territorial donde converge una diversidad de procesos complejos tanto ecológicos, económicos, políticos, sociales que están unificados por una diversidad de relaciones de tal manera que el agua no es un recurso individual, sino un lugar de interacciones, debido a que no solo es un recurso que fluye a lo largo de una superficie cóncava, sino fluye a lo largo de un territorio en donde se generan interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio físico, los modos de apropiación y las instituciones.

En la cuenca los elementos naturales hídricos ocurren por el ciclo del agua, este representa el primer nivel para el análisis del agua, y es concentrado por una serie de eventos (precipitación, escorrentía, infiltración, evaporación) que determinan la cantidad de agua para los procesos inferiores. El proceso que le sigue al evento anterior es el flujo de agua por los ecosistemas naturales el cual llega a un punto de encuentro generando con ello los cuerpos de agua, estos forman parte de la interfaz entre el ecosistema y las lógicas sociales, lo cual permite el uso del agua a procesos más locales.

Los elementos sociales representan ser el nivel inferior, siendo estos los que más contribuyen a los impactos ecológicos sobre el recurso agua. En este contexto, el nivel de las *sociedades* cumple una función de apropiación para el suministro de agua, para el cumplimiento de las *funciones sociales de producción*, la cual se refiere a la organización interna de las sociedades; en este nivel quedan incluidos procesos como la agricultura, ganadería, minería, servicios de salud y gubernamentales, minería entre otros, para finalmente cumplir la función de consumo (ver figura 2.2) (López, 2014).

Figura 2.2. Representación de la organización del flujo del agua por el sistema natural y social.



Nota: adaptado de López, C. M., Cabello, V., & Kovacic, Z. (2013)

Según García (2006) la complejidad de un sistema radica en la diversidad de líneas en las que puede ser abordado un problema en un contexto dado, en este análisis se encontró una relación del agua- agricultura intensiva en el contexto de la cuenca claramente compleja. En este contexto Martínez (2019) habla de lo complejo ya que en este tejido se generan acuerdo político-económicos que establecen prioridades sobre el uso del agua disponible, las funciones de esta, los intercambios tanto en el interior como en el exterior, y son precisamente estos procesos los que a su vez generan conflictos sociales por el acceso al agua, situaciones que llevan a que la cuenca viva procesos de vulnerabilidad hídrica. Esta situación del agua puede ser entendida más claramente desde la ecología política ya que esta parte de la premisa de que las cuestiones ambientales están intrínsecamente politizados tiene que ver con las estructuras de poder y las políticas implicadas en las formas en cómo se asignan y administran los recursos naturales como es el caso del agua donde una cúpula de poder hegemónico es la encargada de la designación del agua lo que genera que los actores o usuarios más débiles queden desprovistos de este líquido (Budds, 2004).

En consecuencia, la producción de bienes en el sector agrícola e industrial es la que mayor contribuye al gasto de agua ya que hace un uso intensivo de este vital líquido. Este sistema de producción ve al agua como un insumo para el proceso de elaboración de un bien, al ser percibida desde este punto se cosifica y pasa a ser una mercancía la cual engendra un precio. En este tenor, el valor del agua depende de la utilidad que genera su consumo, en otras palabras, de cómo la valora subjetivamente el consumidor. Sin embargo, el recurso hídrico no tiene valor, como manifiesta Veraza (2007) solo se le puede agregar si la pasamos por ejemplo a un proceso de purificación, embotellamiento entre otros, ya que estos requieren esfuerzo humano y precisamente es esa ejecución la que le da valor y lo convierte en mercancía, y es que el agua misma existe por naturaleza, no debido al esfuerzo humano de ninguna especie sino del entorno ecosistémico. Al considerar este recurso como una mercancía se encubre una violación extraeconómica de expropiación forzada a la nación y a las comunidades locales, ya que el agua no es un bien comercial, sino un bien común esencial, único e insustituible para la

supervivencia de la humanidad y de los ecosistemas. Esto sin duda alguna lleva a la vulnerabilidad hídrica, asignación desigual y a la violación del derecho al agua como elemento esencial que se debe garantizar para todas las personas y comunidades (Arrojo, 2005).

2.2 La vulnerabilidad hídrica como consecuencia

Una de las problemáticas ambientales que en la actualidad más preocupa es la situación del recurso hídrico, y, es que este recurso cumple múltiples funciones en el ámbito económico, social y ecológico. Sin embargo, en el presente siglo XXI sigue existiendo miles de millones de personas que aún carecen de éste servicio básico, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima 2 100 millones de personas no tienen asegurado el acceso al agua potable y disponibilidad en el hogar y que más de 4 500 millones no disponen de sistemas de saneamiento doméstico; y lo que es más grave las tendencias apuntan a un agravamiento, estimado para 2050, en 4 200 millones las personas estarán viviendo en países donde no se podrá satisfacer el requisito mínimo de 50 litros por persona por día que establece la OMS como derecho universal (Arrojo, 1996). Frecuentemente, se plantea la escasez de agua como un problema mundial de este siglo, sin embargo, el problema va más allá, nos encontramos ante una crisis ecológica de los ecosistemas hídricos; causado por la contaminación y la extracción abusiva de caudales llevando a problemas de disponibilidad de agua potable a escala mundial.

La problemática hídrica se adjudica a diferentes factores entre los que destaca: la sobreexplotación del recurso agua por parte del modelo capitalista, la cual engendra valor al recurso por la utilidad que genera; entonces el agua es valorada, no por constituir un bien en sí mismo, sino por los servicios que presta, pues la carencia del recurso implicaría graves pérdidas en diversos sectores de la economía, lo que limitaría el crecimiento económico. Aunado a esta situación se suman otra serie de factores como son: la gran cantidad de agua que se desperdicia en los procesos industriales y agropecuarios, el aumento de la demanda de agua por parte de la población, la gigantesca transferencia de agua de regiones pobres a las más ricas para cubrir sus necesidades de insumos productivos y los niveles crecientes de

contaminación del recurso, y es que sumados todos estos factores conllevan a una mayor presión sobre el recurso agua que desencadena desajuste y conflictos crecientes. Bajo este escenario asegurar el abastecimiento de agua para promover la salud, el desarrollo económico, la producción de alimentos y energía y la conservación de los ecosistemas, es una de las metas primordiales a nivel global tanto que en la Agenda 2030 donde se plantean los 17 objetivos del desarrollo sostenible uno está dedicado exclusivamente a garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua para todos (Martínez, 2013).

2.2.1 Origen y concepto de vulnerabilidad hídrica

La “*vulnerabilidad hídrica*”, es una noción de finales de la década de 1990 se generó el uso y contenido de este concepto a partir de la noción de construcción social del riesgo. En este periodo Wilches-Chaux (1993) entendía que el riesgo es un sin fin de fenómenos de origen natural o humano que representan un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a dicho fenómeno (Cardoso, 2017). Por lo general las amenazas estaban constantemente relacionadas con los desastres naturales⁵, generando peligro para la población. A raíz de esto, han surgido múltiples reflexiones sobre el riesgo y los desastres en varias zonas del mundo. Sin embargo, resulta evidente que los desastres naturales que generan vulnerabilidad a la sociedad tradicionalmente son atribuidos a causas naturales, pero a raíz de las prácticas humanas, el crecimiento poblacional y los procesos de urbanización, los desastres están relacionados con la degradación ambiental en todas las escalas (Vázquez, 2014). En consecuencia, la vulnerabilidad hídrica está ligada a dos elementos principalmente: el peligro y el riesgo.

La vulnerabilidad hídrica es por tanto también “una construcción social, no solo porque es identificada y comunicada a partir de sus condiciones sociales (en este caso por las condiciones del sistema científico), sino también porque la posición de

⁵ Son condiciones extremas en el clima, alguno de los fenómenos meteorológicos más conocidos es “El Niño” y “La Niña” y son algunos de los fenómenos que más han afectado a la población (Carabias, & Martínez, 2005).

los diferentes grupos en la sociedad (ej. clase social, género, etnicidad), el acceso que tienen a recursos sociales y naturales, los espacios habitados y las estrategias que pueden realizar para enfrentar problemas ambientales, influyen en la forma en que les afectan los desastres o amenazas atribuidas al medio ambiente” (Arreguín, et al., 2015, pág. 12).

Pasando a la parte conceptual la primera definición de la noción de vulnerabilidad hídrica es la de Rubio (2010) refiere que no debe entenderse como la carencia de agua, sino como tal: carencia de agua. En este sentido, por lo general pensamos que son grupos ya bien diferenciados los que presentan desventajas para acceder al agua. Sin embargo, no se trata de grupos, sino más bien categorías de clasificación y cuando observamos estas categorías vemos que tienen una posición de desventaja. De acuerdo con este argumento Vázquez (2014) manifiesta que la vulnerabilidad hídrica no es una característica intrínseca de las personas o grupos, sino que emerge como una situación relativa al riesgo, es decir es un escenario de riesgo, donde todos los componentes configuran la vulnerabilidad.

En este tenor para Hernández (2010) entiende que la vulnerabilidad hídrica surge como una construcción social donde la dinámica de la vida actual revela la escasez del agua dulce disponible, escasez que no afecta de igual a todas las personas o a todos los grupos, en relación con sus necesidades humanas y productivas. Este autor refiere que influyen situaciones físicas y sociales que subyacen y subsisten a la problemática de sobreexplotación y sobreasignación de los recursos hídricos.

Otro autor define a la vulnerabilidad como el proceso por el cual la población humana y los ecosistemas están sujetos a riesgos de sufrir daños o amenazas ocasionadas por factores biofísicos y sociales. A partir de esta noción es que la misma autora refiere que la vulnerabilidad del recurso hídrico es un proceso que conlleva a situaciones críticas e irreversibles en torno a la calidad y cantidad de los recursos hídricos que ponen en riesgo el desarrollo humano y el funcionamiento de los ecosistemas (Ávila, 2008, pág. 48). Esta última autora plantea la noción de vulnerabilidad socioambiental, el cual puede representar un indicador de seguridad hídrica y/o estrés hídrico. El contexto en el que está envuelta la vulnerabilidad

socioambiental interviene procesos complejos desde ecológicos hasta sociopolíticos.

Tomando de referencia a los autores anteriores se construye el concepto de vulnerabilidad hídrica, entendiéndolo como el grado al cual un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a sus necesidades de agua en cantidad y calidad necesaria, con base en ello referimos que la escasez hídrica puede ser derivada de diversos procesos tanto naturales como sociales, económicos y hasta políticos, en el caso de estos dos últimos existe la posibilidad del aumento de la demanda por parte de los consumidores y de las actividades económicas, generando con ello estrés hídrico en cuencas hidrográficas o regiones.

2.2.2 Los ODS como un marco para contrarrestar la vulnerabilidad hídrica

La vulnerabilidad hídrica está estrechamente relacionada con el estrés hídrico, este es un término que escuchamos cada vez más, y es que hoy la demanda de agua para cultivar alimentos, la industria y el sostenimiento de las poblaciones tanto urbanas como rurales, se han ido incrementando, lo que paulatinamente está ocasionando una creciente escasez de agua dulce en varias regiones del mundo (Hoekstra et al., 2012). En este contexto, el estrés hídrico se ha convertido en un tema crucial tanto que la agenda 2030 en sus 17 objetivos del desarrollo sostenible (ODS) dedica unos de estos al tema del agua y el saneamiento con la finalidad de incluir planteamiento, elementos y mediciones para cuantificar los usos del agua y eficientar los mismos y es que la meta de este objetivo es asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir el número de personas que carecen de este líquido vital (FAO, 2018).

El objetivo seis que es el dedicado al agua y saneamiento en los ODS tiene metas claras para el año 2030 entre las que destacan:

1. Lograr el acceso universal y equitativo del agua potable para todos
2. Aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos en los diferentes sectores.
3. Impulsar la gestión integrada

4. Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua.

Resulta evidente que la gran preocupación es el acceso al agua y el tener agua en cantidad y es que en pleno siglo XXI uno de los mayores desafíos es asegurar la provisión de agua para el bienestar de la población al mismo tiempo que la salud ecológica, la integridad y capacidad de recuperación de las cuencas hidrográficas y es que el agua es un cimiento indispensable para sostener la vida (López, 2011).

Aunado al sostenimiento de la vida, lo que se busca es evitar consecuencias negativas para el desarrollo económico, social y ecológico y es que al aumentar la competencia entre los diferentes usos del agua se generan conflictos entre los usuarios que desencadenan luchas de poder por el acceso al agua que pueden ser vistas en términos de estrés hídrico, sin embargo no hablamos de una falta de agua por factores biofísicos, sino porque el manejo del agua se concentra en un grupo de poder que beneficia ciertos sectores y desprotege a otros.

En este contexto resulta trascendental incluir a la reflexión las concepciones teóricas que envuelven el estrés hídrico. En esta noción se encontró una serie de visiones diferentes entre la academia, las organizaciones y las fronteras nacionales. Para el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, se entiende como aquel estrés que acontece cuando la demanda de agua es más grande que la cantidad disponible durante un periodo de tiempo o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. Lo que da como resultado un deterioro del recurso agua en cantidad y calidad.

Según, Hoekstra et al. (2011) define la escasez de agua azul en una cuenca hidrográfica por la relación de la huella hídrica azul en esa cuenca y la disponibilidad de agua, donde este último representa las necesidades ambientales para la salud ecológica. Esta concepción está estrechamente relacionada con lo que refiere Wang et al. (2016) respecto a la sostenibilidad del agua en una cuenca y que esta se logra si el suministro de agua es equitativa y eficiente en términos de calidad y cantidad a lo largo del tiempo.

Otro autor que contribuye en esta revisión teórica es Xinchun et al (2017) lo definen como la relación entre la huella hídrica total en el sector agrícola y la disponibilidad de agua, se refiere al grado de carga de agua (agua superficial y subterránea- agua) causado por la extracción de agua para actividades económicas y sociales y es diferente a la de una sequía causada por razones climáticas como la disminución de la precipitación (Rezaei et al., 2019).

En este mismo tenor Fernando González Villareal, coordinador técnico de la Red del Agua UNAM comenta que el estrés hídrico se refiere a que la demanda de agua crece lo que ocasiona que se sobrepasa los niveles de disponibilidad natural del recurso; a medida que eso sucede, empieza a haber conflictos entre los usuarios (ECOPUMA, 2017). Como resultado de esta búsqueda y del análisis realizado para fines del presente estudio entenderemos al estrés hídrico como la escasez de agua causada por factores sociales y económicos en un determinado territorio que afectan la cantidad y calidad tanto para la parte social como la ecológica.

A raíz de esta situación es que en los últimos veinte años se han venido desarrollando métricas para mapear y rastrear la escasez de agua, esto ha incluido investigaciones sobre la relación del tamaño de la población y el suministro de agua renovable, y la relación entre las extracciones de agua, el suministro renovable y la huella hídrica azul, buscando evidenciar los desajustes entre la disponibilidad y la demanda de agua (Falkenmark, 1989). En el caso de la presente investigación se auxilia de la evaluación de la huella hídrica azul y el volumen concesionado de agua superficial y subterránea para uso agrícola para estimar el nivel de estrés hídrico a causa del sobregiró de agua al que se someten los municipios de Acuitzio, Huiramba, Lagunillas y Morelia a causa de que sus flujos hídricos con concentrados para la producción de aguacate y fresa.

2.3 Metodología: la huella hídrica agrícola y el estrés hídrico

Antes de iniciar el planteamiento metodológico, teniendo ya definidas las categorías teóricas, resulta trascendental explicar los inicios del desarrollo de la estrategia de esta investigación; centrando el trabajo doctoral en el área de las ciencias sociales,

por lo general el estudio de los fenómenos se realiza mediante el método cualitativo. Valles (1999) manifiesta que la investigación cualitativa es un fenómeno empírico, localizado socialmente, definido por su propia historia, es como una especie de gigantesco microscopio a la vida social (Cerrillo,2009). Este enfoque metodológico tiene entre sus entrañas dar rostro a los conflictos y contradicciones que se desprenden del fenómeno de estudio, por lo general existe una fuerte crítica a este paradigma ya que se plantea como un método subjetivo y blando, pero más allá de esta crítica la investigación cualitativa está vinculada con la interpretación del mundo social a partir de la descripción de la realidad.

Mediante este enfoque en un primer acercamiento con el fenómeno social a estudiar se planteó la realización de entrevistas estructuradas a productores de aguacate y fresa con la finalidad de identificar, por parte de estos actores, la cantidad de agua que los cultivos agrícolas demandan y la procedencia de este recurso natural, si bien se pudo entrevistar a siete productores de aguacate de los municipios de Huiramba y Acuitzio, a un productor de fresa del municipio de Huiramba, así como al representante en turno del Consejo Estatal de Ecología de Michoacán. Esta manera de indagar el fenómenos social fue necesario adecuarlo al contexto actual, ya que la contingencia de salud presente desde principios de 2020 obligó a repensar la parte del método ya que no se pudo realizar trabajo de campo, con ello se decide caminar por el enfoque cuantitativo a partir de información secundaria, aun cuando se decide repensar el camino de la investigación esto no significa que los hallazgos encontrados con las entrevistas no serán evidenciados en la presente investigación.

Con el enfoque cuantitativo se parte del método de análisis de datos secundarios, bajo la técnica de recolección y manipulación estadística de los mismos, este cambio no significa que la investigación pierde el rigor científico, ya que tanto el enfoque cualitativo como el cuantitativo son sometidos a rigurosos análisis de manera formal y rígida (Blaikie, 2010). El método cuantitativo se caracteriza por el uso del método hipotético deductivo para el estudio de la asociación o relación entre variables para poder hacer inferencias sobre el fenómeno de estudio (García, 1996). Por lo general, los datos que se utilizan en este tipo de paradigma son primarios o

secundarios, en el caso de la presente investigación se ayuda de información secundaria para el análisis.

Según Blaikie (2010) los datos secundarios son datos que ya están disponibles, es decir, se refiere a los datos que ya han sido recopilados y en ocasiones analizados por otras personas, por lo general cuando se utilizan se tiene que buscar en varias fuentes de donde se pueden obtener, pueden ser datos publicados o no publicados como: datos de los gobiernos u organismos nacionales e internacionales, revistas, libros, periódicos, informes de investigaciones, entre otros. Este mismo autor, refiere en este mismo contexto que el investigador debe tener mucho cuidado al utilizar datos secundarios, considerando que se debe hacer un escrutinio que permita tomar los datos adecuados.

De este modo, la innovación de la presente investigación es el cruce de dos indicadores para la evaluación de la vulnerabilidad hídrica, si bien ya se ha realizado en otros países como Chile donde (Novoa et al., 2019) realizó una evaluación de la huella hídrica en la cuenca del río Cachapoal con el objetivo de evidenciar la insostenibilidad de la cuenca; en lo que concierne a los municipios de Acuitzio, Huiramba, Lagunillas y Morelia, que forman parte de la Subcuenca de Cointzio no se tiene evidencia de estudios similares, por ello el estudio representa un referente para la toma de decisiones respecto al uso de agua y los impactos ambientales, sociales y hasta económicos que se generan.

2.3.1 El método volumétrico para estimar la huella hídrica

El método volumétrico que se utilizó para la evaluación de la huella hídrica agrícola en la presente investigación es el recomendado por la Water Footprint Network (Hoekstra et al., 2011). Es un método basado en el requerimiento de agua del cultivo (RAC) o demanda específica de agua (SWD) por sus siglas en inglés specific water demand sus primeras aplicaciones refieren su uso a productos agrícolas, tanto a nivel internacional, nacional y regional de acuerdo con los trabajos de Chapagain y Hoekstra (2003, 2004, 2005), donde se estudiaron productos como el té, café,

algodón principalmente. De acuerdo con este método, la cantidad de agua empleada en la producción de un determinado cultivo dependerá de parámetros climáticos, tipo de suelo y de la especie de cultivo en cuestión. Aunque esta metodología está bastante desarrollada para evaluar los flujos comerciales de agua en el sector agrícola, se ha venido adaptando a otros sectores como el comercio de productos ganaderos, con ello inicia también la consideración del análisis del ciclo de vida en las estimaciones contenidas en los productos. Cabe mencionar que también se ha orientado su estudio de esta metodología en áreas como la economía o la geografía (Beltrán, 2012. pág. 29-31).

Según, Hoekstra y Chapagain (2008) existen dos métodos para evaluar la huella hídrica de un país o región (ver figura 2.3). El primer enfoque que describen estos autores es el de arriba hacia abajo (Top Down) este no sólo consiste en estimar el uso total de agua que consume un país o región, sino se debe estimar y restar al total la parte de agua utilizada para fabricar productos de exportación que se consumen en otra parte, es decir los flujos de agua virtual salientes, y al mismo tiempo agregar las entradas de agua virtual (véase ecuación 1).

$$HH = (IU) + (AVi - AVe) \quad \text{Ec.1}$$

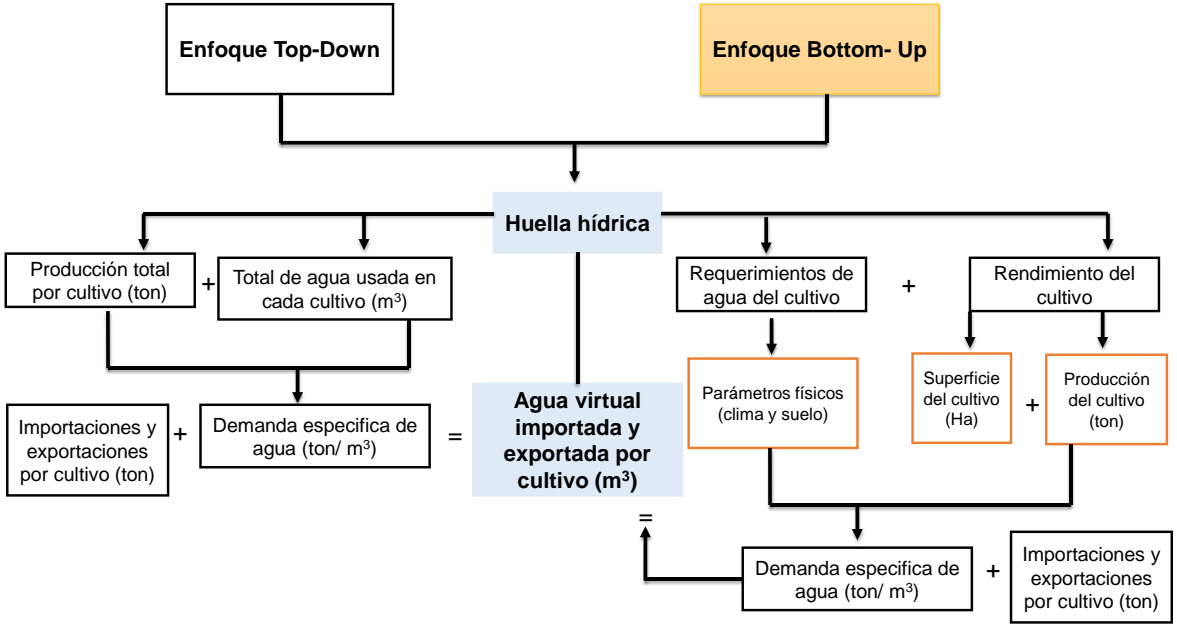
La segunda perspectiva se denomina de abajo hacia arriba (Bottom-Up) que es el enfoque ascendente, se calcula agregando el uso del agua por persona y su uso indirecto del agua como se muestra en la ecuación 2; el uso indirecto del agua se refiere al uso del agua por otros para hacer bienes y servicios que se consuman (Hoekstra y Chapagain, 2008. pág. 62).

$$HH = HHdirecta + HHindirecta \quad \text{Ec.2}$$

Es de destacar que el enfoque ascendente depende de la calidad de los datos de consumo, mientras que el enfoque de arriba hacia abajo se basa en la calidad de los datos comerciales, este último es más vulnerable a errores cuando la

importación y exportación de un país es grande en relación con su producción, cuando suceden estos casos resulta más conveniente utilizar el enfoque de abajo hacia arriba (Van et al., 2008, pág. 12). El segundo enfoque denominado de abajo hacia arriba sirvió de apoyo para estimar la HH de los cultivos de aguacate y fresa en municipios de la Subcuenca de Coitzio.

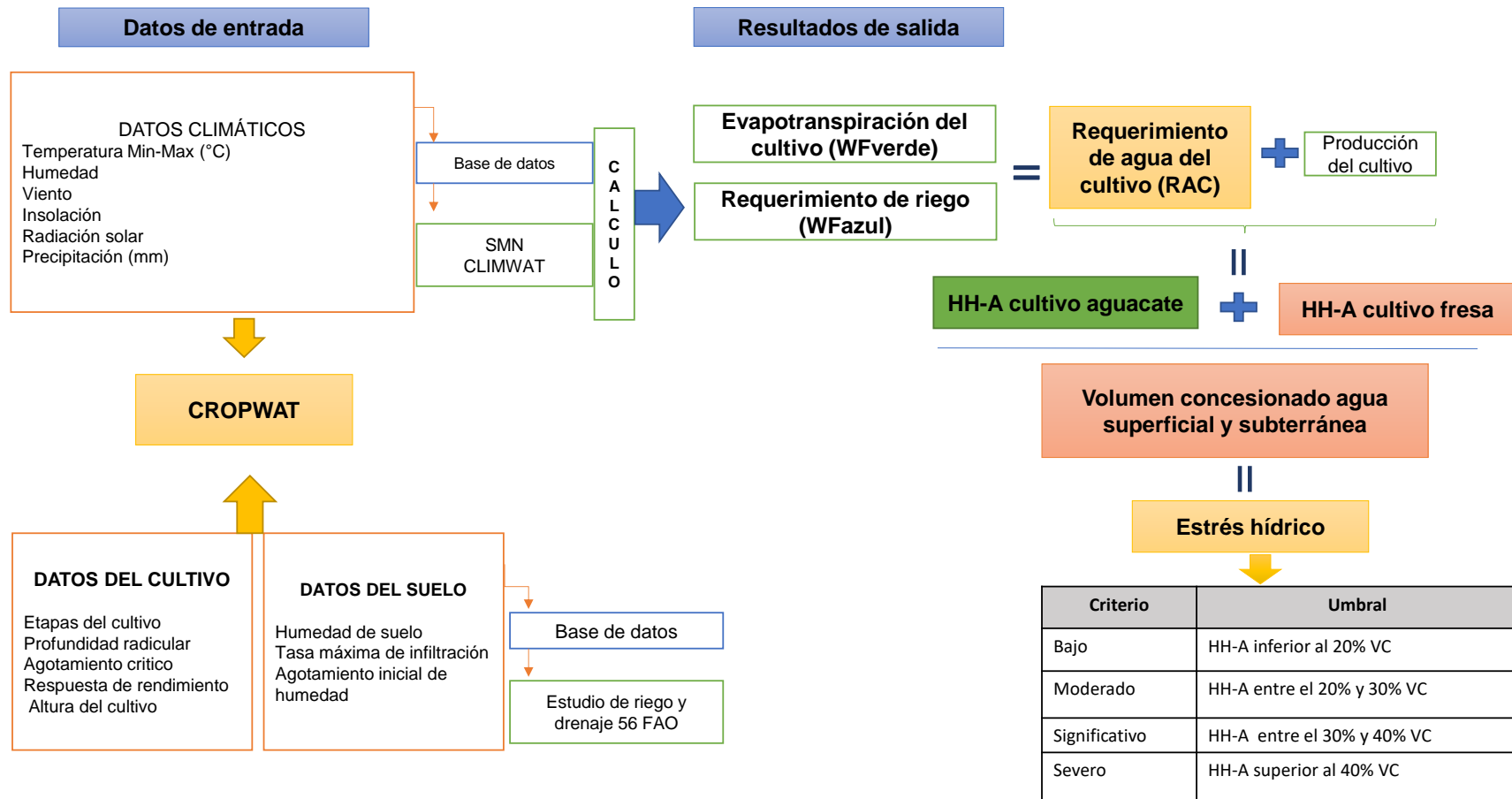
Figura 2.3. Requerimiento de datos para las diferentes perspectivas para estimar la huella hídrica y el agua virtual en la agricultura.



Nota: adaptado de (López, 2008, 2014) y (Hoekstra y Hung, 2002).

Teniendo definido el método para la evaluación de la huella hídrica, en la figura 2.4 se muestra el diagrama extendido que se siguió en la presente investigación para estimar la huella hídrica del aguacate y la fresa, se realiza este bosquejo con la finalidad de orientar un primer entendimiento de los cálculos a realizar, y posteriormente se detallan en los siguientes subtemas cada una de las ecuaciones necesarias.

Figura 2.4. Diagrama de la metodología de la huella y el estrés hídricos



Nota: elaboración propia

2.3.2 Modelo CROPWAT 8.0 para estimar la evapotranspiración de agua verde y azul de los cultivos (ETc)

El programa CROPWAT 8.0 es un programa informático desarrollado por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua y de riego de cultivos agrícolas. El modelo analiza la cantidad de agua que se incorpora al cultivo por medio de la lluvia, es decir el componente de agua verde y la demanda de riego que se adiciona, el cual sería el componente de agua azul (Novoa et al., 2019). Este modelo se alimenta de los datos climáticos, además de los datos del cultivo como los valores de K_c , las etapas de crecimiento, el agotamiento crítico requerimiento de agua del cultivo, y los datos de suelo. Esta serie de aspectos están relacionados con la evapotranspiración, la cual se refiere a la combinación de dos procesos separados por los cuales el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otro parte mediante la transpiración del cultivo de referencia y a partir de ella estimar la evapotranspiración del cultivo (Reis et al., 2020).

Este modelo tiene sus bases en la ecuación de Penman-Monteith, la cual permite el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) este método combino el balance energético con el de transferencia de masa para calcular la evaporación de una superficie abierta, este presenta la siguiente ecuación para el cálculo. (Cleves et al., 2016).

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(Rn - G) + y \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + y (1 + 0.34 u_2)}$$

Donde la ET_o es la evapotranspiración de referencia (mm/día), la Rn es la radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ/m^2/día$), G es el flujo del calor del suelo ($MJ/m^2/día$), T es la temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}C$), u_2 es la velocidad del viento a 2 m de altura (m/seg), e_s es la presión de vapor saturante (K/Pa), e_a es la presión real del vapor (K/Pa), $(e_s - e_a)$ es el déficit de presión de vapor (K/Pa), Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor (K/Pa/ $^{\circ}C$) y por último la y es una constante psicométrica (K/Pa/ $^{\circ}C$) (FAO, 2000).

La ecuación mostrada anteriormente es una representación simple de los factores físicos y la resistencia estomática que rigen el proceso de evaporación directa del suelo y la transpiración de la vegetación. En consecuencia, esta ecuación es la que usa el programa de CROPWAT 8.0 para estimar la ETo (evapotranspiración de referencia), que sumada con datos del cultivo⁶ y suelo⁷ (ver cuadros 5.1 y 5.2), se estimó la ETc que es la evapotranspiración del cultivo.

La estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) es determinante para cuantificar la huella de agua azul y verde, esta se entenderá como “la demanda evaporativa de la atmósfera sobre cultivos que crecen en áreas grandes bajo condiciones óptimas de agua en el suelo, con características adecuadas tanto de manejo como ambientales, y que alcanzan la producción potencial bajo las condiciones climáticas dadas, es decir, es lo que se pierde de agua por factores como la radiación solar y lo que realmente se absorbe por la planta” (Villegas & Torres, 1997, pág. 7) En igual forma Allen et al. (1998) citado en (Chapagain & Hoekstra, 2011) refiere que la ETc depende de parámetros climáticos, las características del cultivo y la disponibilidad de agua en el suelo.

De manera que la evapotranspiración real del cultivo (ETc) es igual al requerimiento de agua del cultivo (RAC); Etc.= RAC. El cálculo de la ETc se realizó con base en el requisito de riego (IR) y la precipitación efectiva (peff). Esta metodología asume que las pérdidas por riego permanezcan y vuelvan a la cuenca. La ETazul fue estimada a partir de la siguiente ecuación:

$$ET_{azul} = IR \quad \text{Ec.5}$$

$$IR = \frac{ETc}{peff} \quad \text{Ec.6}$$

⁶ Los datos del cultivo de aguacate mostrados en el cuadro 5.1 se utilizan para los cuatro municipios, y es que son datos promedio determinados por estudios de la FAO, y mostrados en el Manual 56 de la FAO sobre riego y drenaje.

⁷ Los datos del suelo mostrados en el cuadro 5.1 y 5.2 se utilizan para todos los municipios y es que el mayor porcentaje de la textura del suelo en la zona de estudio es medio, por lo tanto, se considera en mayor medida estas estimaciones estándares de la FAO.

El programa del CROPWAT 8.0 realizó el cálculo de la precipitación efectiva (peff) determinada en mm/mes, según el método de USDA SC; cuando la lluvia efectiva es mayor que la evapotranspiración total del cultivo, ET_{azul} (mm/mes) es igual a cero. ET_c o RAC fue estimada con un intervalo de tiempo de diez días y durante la temporada de crecimiento de los cultivos usando la siguiente ecuación:

$$RAC_c^p = ET_o^p \times K_c \quad \text{Ec.7}$$

Donde el RAC_c^p es el requerimiento de agua de un cultivo c en una región p; la ET_o^p es la evapotranspiración potencial en una región p; y K_c es el coeficiente de crecimiento de un cultivo c, que describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que estas se van desarrollando.

2.3.3 Estimación del requerimiento de agua del cultivo (RAC)

El uso del agua del cultivo azul y verde se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$RAC_c^p \text{ verde} = 10 \times \sum_D^{lg} ET \text{ verde} \quad \text{Ec.8}$$

$$RAC_c^p \text{ azul} = 10 \times \sum_D^{lg} ET \text{ azul} \quad \text{Ec.9}$$

Donde $ET \text{ verde}$ y $ET \text{ azul}$ son la evapotranspiración de agua azul y verde respectivamente. La evaluación se basó en el tiempo de crecimiento de desde la siembra (día 1) hasta la cosecha (lgp). Para convertir la profundidad del agua de mm a área/superficie (m^3/ha) se aplicó el factor 10 (Hoekstra et al., 2011).

2.3.4 Cálculo de la huella hídrica agrícola azul y verde

Una vez calculado el requerimiento de agua del cultivo (RAC), se procede al cálculo de las huellas de agua azul y verde de los cultivos estudiados, para ello primero se realiza el cálculo del rendimiento del cultivo con la siguiente ecuación y será expresado en toneladas/ ha.

$$R_c = \frac{prod_c^p}{sup_c^p} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde la R_c es el rendimiento de un cultivo c en una región p ; la $prod_c^p$ es la producción de un cultivo c en una región p ; y finalmente la sup_c^p es la superficie sembrada del cultivo c en la región p . Este último cálculo ofrece una visión de la rentabilidad física del cultivo, es decir la intensidad con la que se usa la tierra.

$$HH \text{ proc verde}_c^p = \frac{RAC_c^p}{R_c} \quad \text{Ec.11}$$

$$HH \text{ proc azul}_c^p = \frac{RAC_c^p}{R_c} \quad \text{Ec.12}$$

Donde el RAC es el requerimiento de agua de un cultivo c en una región p ; y la R es la producción de un cultivo c en una región p . El cálculo se expresa en m^3 /tonelada. Con la ayuda de esta última estimación se calcula el requerimiento de agua de uso directo del cultivo c en una región p , la cual va a ser expresada en m^3 /tonelada.

$$RAC (UD)_c^p = \frac{RAC_c^p}{R_c^p} \quad \text{Ec. 13}$$

$$RAC (UDazul)_c^p = \frac{RAC_c^p}{R_c^p} \quad \text{Ec. 14}$$

Teniendo el requerimiento de agua de uso directo del cultivo, estamos en condiciones del cálculo de las huellas de agua verde y azul, utilizando las siguientes ecuaciones (Hoekstra et al., 2011):

$$HH\ UD\ azul_c^p = RAC\ (UD)_c^p \times Prod_c^p \quad Ec.15$$

$$HH\ UD\ verde_c^p = RAC\ (UD)_c^p \times Prod_c^p \quad Ec.16$$

Los datos de rendimiento y volumen de producción fueron recopilados del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP,2020), en el caso de la modalidad de la siembra se consideró la de riego y de temporal de igual manera bajo el argumento de que en los municipios estudiados se auxilia del riego en la temporada más crítica del periodo de secas, sin embargo, debido a las condiciones tecnológicas de la huerta el SIAP no las considera de riego sino de temporal.

Se agregan un indicador más la productividad hídrica la cual manifiesta la capacidad de generación de ingresos en relación con el consumo de agua de acuerdo con Salmoral et al. (2011). Es importante aclarar que este indicador no refleja realmente las ganancias en términos monetarios de los cultivos agrícolas estudiados y es que el agua no es el único factor de producción. En estos términos, este indicador indica el costo de venta, es decir la cantidad de pesos que se generaron a partir de los metros cúbicos consumidos por el cultivo.

Se calcula a raíz del valor de producción o precio de mercado del cultivo agrícola y los m³ de agua consumida de acuerdo con la *ecuación (19)*, para ello primero se evaluó la rentabilidad monetaria del agua en la producción (RMP), la cual se expresa en pesos/m³.

$$RMP_c^p = \frac{Valor\ producción\ cultivo_c^p}{HH\ azul\ o\ verde\ cultivo_c^p} \quad Ec.17$$

Donde, RMP_c^p es el rendimiento monetario del agua para la producción de un cultivo x en una región p; el $Valor\ producción\ cultivo_c^p$ es la producción monetaria de un cultivo x en una región p, es decir el precio de mercado del producto (\$/ton)⁸; y la $HH\ azul\ cultivo_c^p$ es el uso de agua azul o verde que demanda el cultivo, es decir,

⁸ Datos recopilados del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

el agua consumida para la producción la cual se estimó a partir de la RAC y los datos de producción en toneladas.

2.3.5 El índice de estrés hídrico (WSI) como herramienta para evaluar la vulnerabilidad

El índice de estrés hídrico es un segundo indicador estudiado en la presente investigación ya que es una herramienta que auxilia para determinar el grado al que está expuesto un sistema derivado de las presiones hídricas. Una de las herramientas más usadas para la evaluación de dicho indicador es el de Falkemmark, desarrollado por el experto sueco en agua Falkenmark en 1989, originalmente, el indicador se basó en la estimación de que una unidad de flujo de un millón de metros cúbicos de agua puede apoyar a 2.000 personas en una sociedad con un alto nivel de desarrollo, utilizando a Israel como referencia calculando los recursos hídricos renovables anuales totales per cápita. La disponibilidad de agua de más de $1,700\text{m}^3$ / cápita / año se define como el umbral por encima del cual la escasez de agua ocurre solo de manera irregular o local. Por debajo de este nivel, la escasez de agua surge en diferentes niveles de gravedad. El estrés hídrico por debajo de 1.700m^3 / cápita / año aparece regularmente, la escasez de agua por debajo de 1.000m^3 / cápita / año es una limitación para el desarrollo económico y la salud y el bienestar humanos, y la disponibilidad de agua por debajo de 500m^3 / cápita / año es la principal limitación para la vida. En consecuencia, este indicador se utiliza para medir la proporción del uso del agua respecto a la cantidad de recursos hídricos disponibles en una región, y es que este supone que el estrés hídrico se genera por el aumento en el uso y consumo de agua (Xinchun et al., 2017).

Otro indicador desarrollado por el mismo periodo de tiempo del anterior es el de Gleick (1990) el cual nombró vulnerabilidad de los sistemas de agua, desarrollo este índice para cuencas hidrográficas en los Estados Unidos como parte de una evaluación de los posibles impactos del cambio climático para los recursos y los sistemas hídricos. Describe la vulnerabilidad de los sistemas de recursos hídricos

en función de cinco criterios y umbrales correspondientes que se describen brevemente en el cuadro 2.2. Estos cinco indicadores no se agregan a un índice general, pero para cada región se presenta el número de secciones vulnerables. Este enfoque enfatiza los sectores de cuencas que están amenazados (WSM, 2004).

Cuadro 2.2. Indicadores para evaluar el estrés hídrico bajo el esquema de Gleick

Criterio	Umbral
Volumen de almacenamiento en relación con los recursos hídricos renovables totales.	Una cuenca se define como vulnerable si la capacidad de almacenamiento es inferior al 60% de los recursos hídricos renovables totales.
Uso consuntivo en relación con los recursos hídricos renovables totales.	El umbral de vulnerabilidad es una relación de 0.2
Proporción de hidroelectricidad en relación con la electricidad total.	Si la parte de la hidroelectricidad es superior al 25%, la región se considera vulnerable.
Sobregiro de agua subterránea en relación con la extracción total de agua subterránea	Las regiones con una relación superior a 0,25 se definen como vulnerables.
Variabilidad de flujo	Este indicador se calcula dividiendo la escurrimiento superficial que excedió solo el 5% del tiempo por la cantidad excedida el 95% del tiempo. Una relación baja indica una baja variabilidad de la escurrimiento y, por lo tanto, un bajo riesgo de inundaciones y sequías. Un valor de variabilidad superior a 3 indica vulnerabilidad en este aspecto.

Nota: (WSM, 2004).

Un indicador que se suma a esta revisión es el desarrollado por Richter et al., (2011) y Hoekstra et al., (2012), refiere que la escasez de agua depende de factores como el tiempo, y que a su vez ha a variar dentro del año y de un año a otro. Estos autores entienden que la disponibilidad de agua en una cuenca fluvial, hablando solo de agua azul, puede ser determinada a partir de la escurrimiento natural en la cuenca menos el requisito de caudal ambiental. Este caudal ambiental resulta ser un índice presuntivo, es decir, tiene un enfoque de precaución; este se basa en la aplicación de la siguiente norma “toda la escurrimiento puede ser usada, siempre que no más

del 20% de la escorrentía total se agote por el consumo de agua”. Este método resulta ser muy indicado para calcular ese nivel de estrés. Sin embargo, para los fines de la presente investigación no se adecua a los datos existentes para su cálculo. Por lo tanto, la determinación de la huella hídrica azul (aguacate y fresa) y el volumen concesionado de agua superficial y subterránea en los municipios de estudio permitirán estimar ese nivel al que es susceptible de crisis hídrica el territorio. En este sentido esta forma de evaluar el estrés hídrico se ha clasificado en cuatro niveles el estrés hídrico (ver cuadro 2.3):

Cuadro 2.3. Criterios de clasificación para evaluar el estrés hídrico en los municipios de estudio de la Subcuenca de Cointzio

Criterio	Umbral
Estrés hídrico bajo	La huella de agua azul de los cultivos de aguacate y fresa es inferior al 20% del volumen concesionado de agua superficial y subterránea para uso agrícola.
Estrés hídrico moderado	La huella de agua azul está entre el 20% y el 30% del volumen concesionado de agua superficial y subterránea para uso agrícola.
Estrés hídrico significativo	La huella azul está entre el 30% y el 40% del volumen concesionado de agua superficial y subterránea para uso agrícola.
Estrés severo	La huella de agua azul supera el 40% del volumen concesionado de agua superficial y subterránea para uso agrícola.

Nota: elaboración propia

El presente estudio usa esta clasificación del estrés hídrico para determinar el grado de vulnerabilidad hídrica, en términos del sobregiro de agua subterránea y superficial en relación con la huella hídrica azul de los cultivos agrícolas de aguacate y fresa en los municipios de estudio.

2.3.5.1 La sostenibilidad de la huella hídrica azul agrícola

La base metodológica para realizar el cálculo del estrés hídrico es la metodología de (Hoekstra et al., 2012) este autor establece la relación entre la huella hídrica de la cuenca y la disponibilidad de agua azul, tomando de base lo anterior enuncia la siguiente ecuación:

$$WSI = \frac{HH\ UD\ azul_c^p + HH\ UD\ verde_c^p}{WA} \quad \text{Ec.18}$$

Donde el índice de estrés hídrico WSI se calcula como la suma de todos los componentes de la huella hídrica azul de los cultivos analizados en los municipios de estudio en un periodo de tiempo determinado, y la WA representa la disponibilidad de agua azul, la cual se estima a partir de la escorrentía o el flujo natural de la cuenca (Novoa et al., 2019).

Sin embargo, la metodología descrita anteriormente no se adecua a las necesidades de la presente investigación y es que los datos de la escorrentía o el flujo natural de la cuenca no se tienen estimados, por lo tanto, se recurre a los datos de los volúmenes de agua concesionados de los flujos superficiales y subterráneos para uso agrícola para realizar el cálculo del umbral o el sobregiro de agua azul que permitirá determinar el grado de estrés hídrico tomando de referencia el cuadro 2.4.

Los volúmenes de agua concesionados se obtuvieron del Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de acuerdo con los lineamientos de CONAGUA 01-003- A asignación de aguas nacionales superficial y la 01-004-A asignación de aguas subterráneas, los cuales establecen que los títulos de concesión otorgados tienen una vigencia no menor a cinco años y no mayor a 30 años, bajo esta premisa es que para los municipios de Acuitzio, Huiramba y Lagunillas se realizó el análisis con los volúmenes concesionados de cada uno de los años estudiados para determinar la huella hídrica.

Bajo este nuevo escenario se planteó la siguiente ecuación para estimar el estrés hídrico que están generando los cultivos de aguacate y fresa en la región estudiada.

$$\text{Estrés hídrico} = \frac{HH\ UD\ azul_f^a}{VC\ s,s} \quad \text{Ec.19}$$

Donde el índice de estrés hídrico se calculó como la suma de la huella hídrica de los cultivos de aguacate y fresa analizados en los municipios de estudio en el periodo de tiempo ya establecido, y la $VC\ s,s$ es el volumen concesionado de agua superficial y subterránea para uso agrícola para un año en particular.

Capítulo III

Análisis socioeconómico y ambiental de la zona de estudio

En el presente apartado se analizan las generalidades geográficas, sociales, económicas y ambientales de los municipios de Acuitzio del Canje, Huiramba, Lagunillas y Morelia, estos representan el territorio a estudiar. Los estudios referentes para el análisis de este apartado son el de Ríos (2012) sobre los servicios ambientales y el de Mendoza & López (2007). Aunado a estos dos estudios que son base para el presente capítulo, se toman las estadísticas del censo de población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020). Para la cartografía se recurrió al portal de Geoinformación (2020) del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). En consecuencia, la sistematización de todos los elementos mencionados, apoyan a comprender los procesos sociales y ambientales de la región.

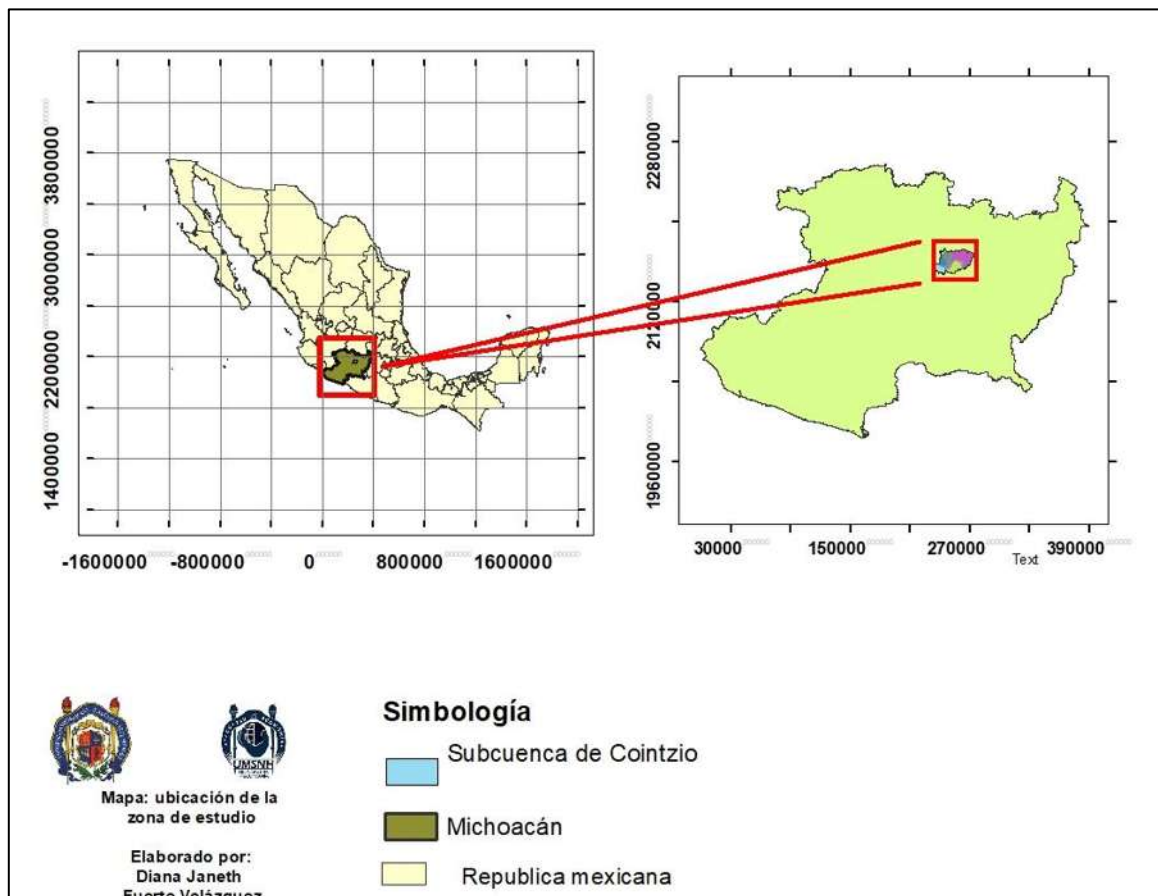
3.1 Ubicación geográfica

Los municipios de Acuitzio del Canje, Huiramba, Lagunillas y Morelia, que comprenden la zona de estudio se ubican entre las coordenadas 19° 37' 0" de latitud norte y 101° 15'36.77" longitud oeste. Forma parte de la cuenca del Lago de Cuitzeo, y se ubica en la región hidrológica de la cuenca Lerma-Chapala, dentro del Sistema Volcánico Transversal en el Centro Occidente de México. La Subcuenca tiene una superficie aproximada de 668 Km² de este total del territorio un 85% corresponde a los municipios de la zona de estudio ver (Figura.3.1). Este territorio está conformado por colinas, lomeríos altos y planicies, desarrolladas sobre

materiales volcánicos, tiene un gradiente altitudinal que va de los 2,000 en la planicie a los 3,500 metros sobre el nivel medio del mar en la parte más alta de la subcuenca.

En este territorio, se asientan ocho municipios del Estado de Michoacán. En ellos habitan alrededor de 43 506 personas, en 155 localidades, de las cuales tres corresponden a asentamientos urbanos (> 2,500 habitantes), Acuitzio del Canje, Cuanajo y Huiramba. El clima que predomina en esta zona es el templado y subhúmedo, la temporada de lluvia va de mayo a octubre, estas por lo general son cortas e intensiva. Las precipitaciones aumentan de la parte norte hacia la parte sur y las temperaturas se incrementa de sur a norte (Rios,2012).

Figura 3.1. Localización geográfica de la Subcuenca de Cointzio y los municipios de estudio



Nota: elaboración propia.

El desfogue de la Subcuenca es controlado por la presa de Cointzio esta es una obra que data de los años 30's del siglo pasado destinada tanto para el uso agrícola como para el uso urbano de acuerdo con la CONAGUA tiene una capacidad de 79.23 Hm³, de los cuales se puede extraer solo 67 Hm³ y de este total el uso urbano tiene una asignación del 23% de su capacidad y el resto para el uso agrícola, asimismo tienen un gasto máximo de agua potable de 0.620 m³/S y para riego de 12 m³/S, esta situación lo convierte en un lugar prioritario por los servicios ecosistémicos que brinda (Martínez, 2019).

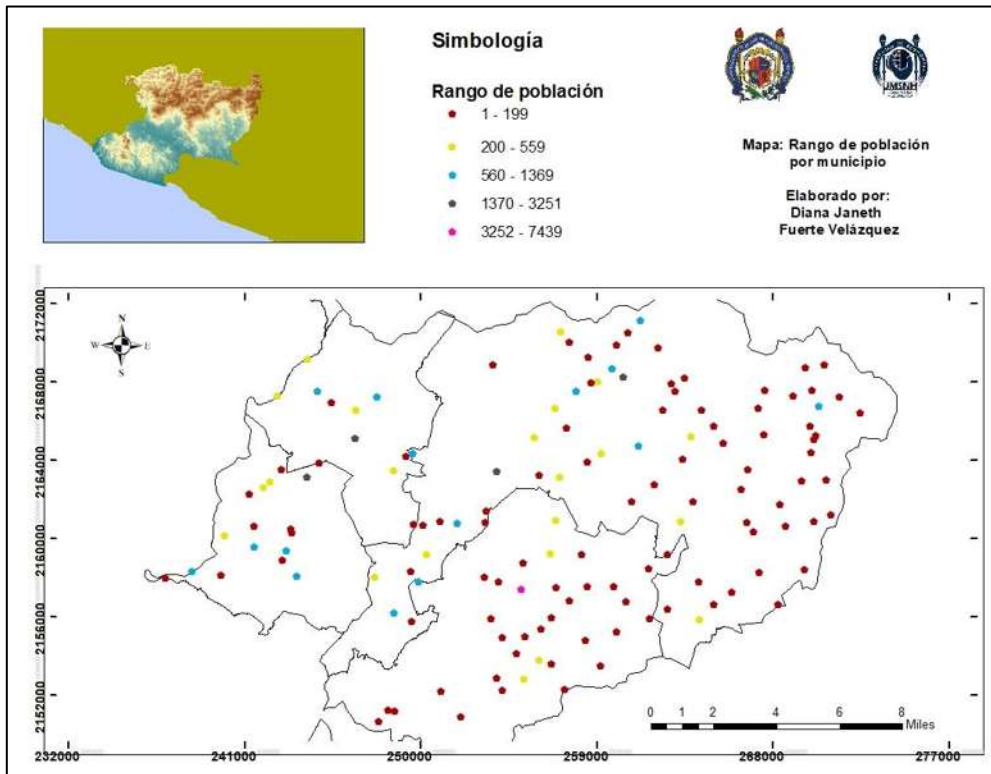
Esta zona representa un lugar prioritario por los servicios ambientales que brinda no sólo al ecosistema, sino también al ser humano. Sin embargo, en la última década está siendo asfixiada por la contaminación; causados principalmente por la deforestación, descargas de aguas residuales sin tratamiento, escurrimientos de residuos químicos de la agricultura, principalmente del aguacate y la fresa y el azolve, han convertido a la presa en un embalse completamente infestado de Lirio y todo tipo de maleza acuática (Molina, 2018).

Este escenario genera vulnerabilidad no solo al ecosistema presente en esta área, sino también pone en riesgo la cantidad y calidad de agua destinada para el consumo humano. Ante este fenómeno, la presente investigación determinó que de los ocho municipios que comprenden la Subcuenca, estudiar solo cuatro de ellos debido a que la producción agrícola en particular de la fresa y el aguacate se han incrementado desmesuradamente en los últimos años en estos municipios, y con ello el uso del agua ya que son cultivos que demandan grandes volúmenes de este recurso natural.

Determinando el espacio territorial a estudiar, en los siguientes párrafos se describen de manera breve algunas características socioeconómicas de los municipios de estudio. El área está conformada por 136 localidades, de las cuales 79 se encuentran en el municipio de Morelia, 30 en Acuitzio del canje, 17 en Huiramba y 10 en Lagunillas, el total de la población es de 43,231 y el municipio con mayor número de habitantes es Morelia con 17,869 ya que es el que concentra mayor número de localidades (ver figura 3.2) seguido de Acuitzio del canje,

Huiramba y Lagunillas ver Cuadro 3.1. en el caso del municipio de Morelia: las localidades con mayor número de habitantes son Santiago Undameo, Tiripetío.

Figura 3.2. Rango de población por municipio



Nota: elaboración propia.

Cuadro 3.1. Población total por municipio estudiado

Municipios	Número de habitantes
Acuitzio del canje	10,798.00
Huiramba	8,819.00
Lagunillas	5,745.00
Morelia	17,869.00
Total	43,231.00

Nota: elaboración propia a partir de (ITER, 2020)

Tomando de referencia la población total se determina la densidad de población, esta es una relación entre el número de habitantes y la superficie que comprende el área de estudio. Teniendo una población de 43,231 y una superficie de 567 km² se tiene una densidad de 76 habitantes por km², lo que significa que existen un número considerable de habitantes por kilómetro cuadrado, ya que la media nacional es de 64 habitantes por km², mientras que en el Estado de Michoacán se estima 61 habitantes por kilómetro cuadrado. Con base en estos resultados se hace el supuesto de que al haber una mayor densidad de población puede existir el caso de una mayor presión sobre los recursos naturales.

De acuerdo con los resultados por localidad (ITER,2020) realizado por el INEGI, el municipio con un mayor porcentaje en general de los servicios básicos en la vivienda es Huiramba de las 2720 viviendas un 79% cuenta con agua potable dentro de sus viviendas, un 76% cuenta con drenaje y un 79% tiene electricidad, después de este municipio le sigue Morelia, Acuitzio del canje y por último Lagunillas que es el que tiene un menor porcentaje en el acceso a los servicios básicos (ver cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Servicios en vivienda por municipio estudiado

Municipio	Número de Viviendas	Porcentaje de viviendas con agua potable	Porcentaje de viviendas con drenaje	Porcentaje de viviendas con electricidad
Acuitzio del Canje	3,814.00	70.5	69.63	71.97
Huiramba	2,720.00	79.3	76.36	79.7
Lagunillas	2,166.00	68.74	67.35	68.92
Morelia	6,560.00	70.79	68.42	72.62

Nota: elaboración propia a partir de (ITER, 2020)

3.2 Uso de suelo y vegetación

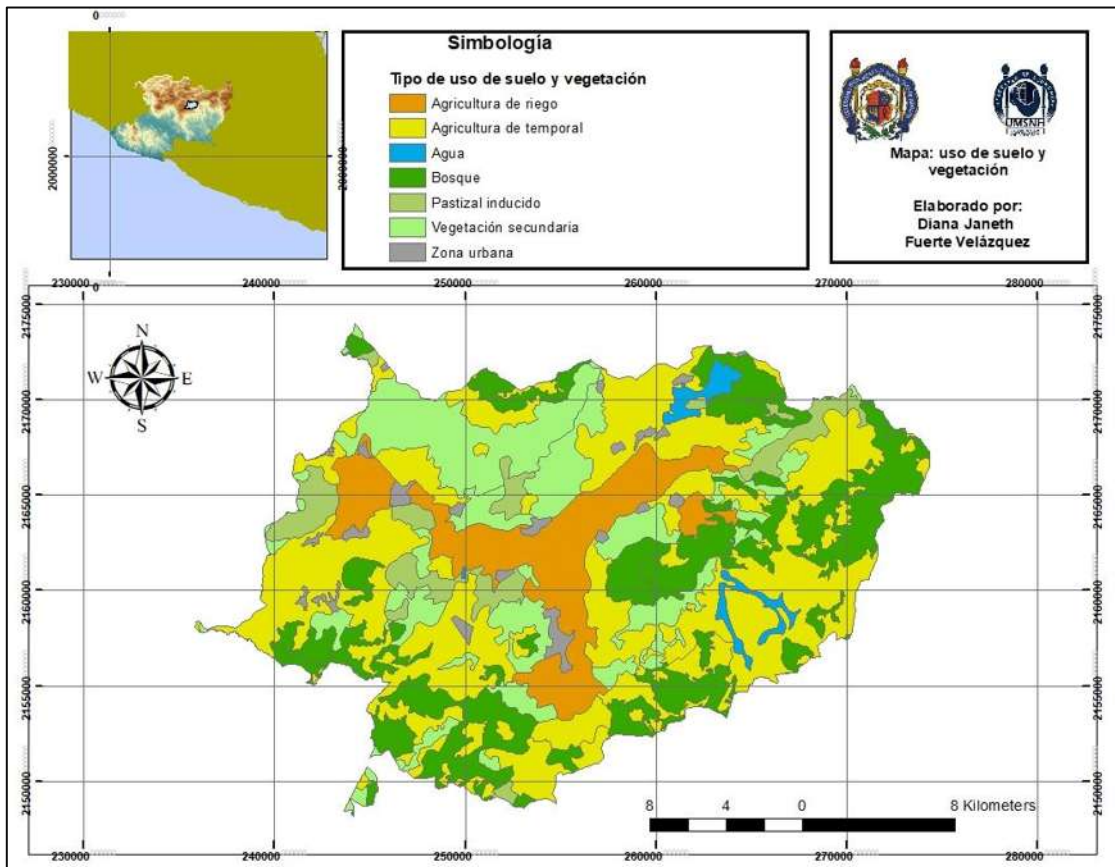
La cobertura vegetal y el uso de suelo permite realizar estimaciones sobre el estado actual de los recursos naturales y de este de la manera en que estos están siendo utilizados. Cuando referimos cobertura, se está haciendo alusión a los objetos

naturales o artificiales que cubren la superficie del suelo, los cuales pueden originarse de ambientes naturales como resultado de la evolución ecológica, como bosques o lagunas o cultivos o ciudades. El uso de suelo por su parte resulta de las actividades productivas y los asentamientos humanos que se han desarrollado sobre la cobertura del suelo. Las características del uso del suelo son el resultado de la interrelación entre el factor físico o natural y los factores culturales y humanos (López et al.,2000).

El mapa de la cobertura y uso de suelo fue realizado con la cartografía del INEGI (2016) a una escala 1:250000, serie VI (continuo nacional), escala 1:250000, la cual se trabajó en Arcmap 10.5. Con el análisis cartográfico, se logró determinar los principales usos de suelo y vegetación predominante en los municipios estudiados, identificando siete principalmente: agricultura de riego, agricultura de temporal, agua, bosque, pastizal inducido, vegetación secundaria y zona urbana (ver figura 3.3).

De los diferentes usos del suelo y vegetación el que predomina en los municipios estudiados de acuerdo con el análisis estadístico es el de la agricultura de temporal con un porcentaje del 37.96% de la cubierta total; esta se localiza en las zonas de lomeríos bajos y piedemontes, seguido del bosque con un 22.03%; las zonas boscosas se ubican en los lomeríos altos y montañas, después del bosque la vegetación secundaria ocupa el 18.43%, ver figura 3.5.

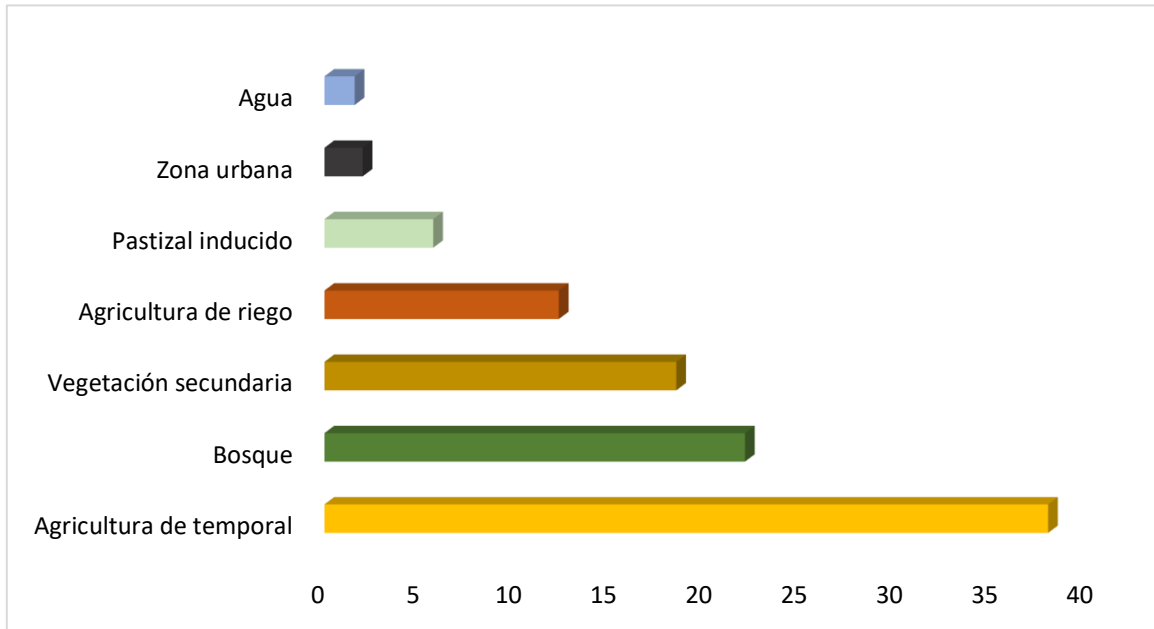
Figura 3.3. Cobertura de uso de suelo y vegetación, 2016. Subcuenca de Cointzio



Nota: elaboración propia

Cabe destacar que la agricultura de riego, aunque no se encuentra dentro de los tres lugares también ocupa una posición importante la cuarta con un 12.27%, dentro de este tipo de agricultura se contempla al cultivo de fresa y aguacate ya que por lo general este tipo de cultivos se realizan bajo esta práctica agrícola, el cual se distribuye en las partes más plana de la Subcuenca de Cointzio, predominando mayormente en el municipio de Lagunillas y Morelia. En la figura 3.4, se observa el área total y relativa de cada categoría de uso de suelo y cubierta vegetal.

Figura 3.4. Porcentaje de la Superficie de uso de suelo y vegetación por tipo de cobertura en los municipios de Acuitzio del Canje, Huiramba, Lagunillas y Morelia.



Nota: elaboración propia

En la parte del bosque se puede apreciar poblaciones de pino, de encino y de bosque mixto (pino-encino):

Bosque de pino: se distribuye entre los 2300 y 3500 msnm. Las principales especies son: *Pinus michoacana*, *P. pseudostrobus* (Lindl), *P. lawsonii* (Roetz.), *P. leiophylla* (Schltdl. and Cham.), *P. teocote* (Schltdl. and Cham)

Bosque de encino: construido por especies de género *Quercus* (encino o roble), se encuentra como una transición entre el bosque y la selva, puede alcanzar alturas entre los 4 y 30 m, pueden ser rodales abiertos o muy densos. Se encuentran desde los 5,200 y 2,440 msnm (Ríos, 2012).

Bosque Pino-Encino (mixto): localizado en las partes medias y altas, a altitudes entre 2,500 y 3,140 msnm. Las especies de pino que se localizan en esta Microcuenca son: *Pinos montezumae* que es endémico de todo el Estado de Michoacán, *Pinos michoacana*. Por lo general, su aprovechamiento se destina a la producción de tablas para la construcción, polines, cajas para fruta, entre otras. En

la actualidad, el área ya no solo es incorporada a la agricultura de temporal, sino se ha expandido la deforestación de bosque para la siembra de aguacate, fresa y frambuesa principalmente, cultivos que principalmente son de riego, situación que afecta la conservación de los recursos naturales de la Subcuenca principalmente el recurso agua (Ríos, 2012).

3.2.1 Tipo de suelo

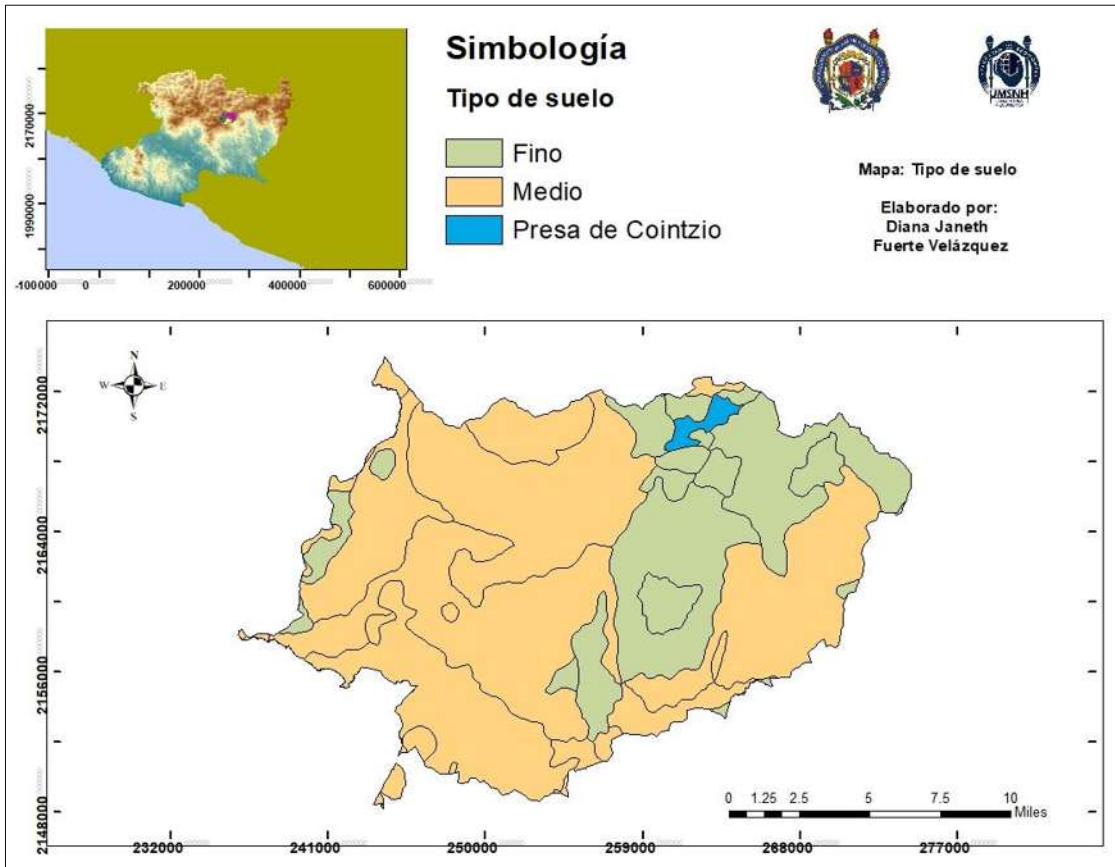
El suelo es un elemento de enlace entre los factores bióticos y abióticos y se considera un hábitat imprescindible para el desarrollo y soporte de las plantas o cultivos y es que de este depende su productividad. La clasificación que hasta la fecha se usa como estándar internacional para identificar a los suelos es la realizada por la FAO (1990), esta define tres clases de textura de los suelos indicando las proporciones relativas de arcilla, limo o arenas (Torres et al., 2006).

La textura del suelo es una característica importante, de esta dependen una serie de propiedades: porosidad y capacidad de intercambio; de esta serie de propiedades depende tanto la capacidad de humedad del suelo y la infiltración del mismo (FAO-UNESCO, 1973).

Para elaborar el mapa de tipo de suelo se utilizó la cartografía de INIFAP-CONABIO (1995) a una escala de 1:250000, la cual se trabajó en Arcmap 10.5, se logró determinar que en los municipios de estudios que pertenecen a la Subcuenca de Cointzio los tipos de textura que predominan son: Fino con una cobertura 28.88 % del total de la superficie, y el medio con un 70.24% (ver figura 3.5). En el caso de los suelos finos, son suelos arcillosos, arcillosos-limosos, arcillosos-arenosos, franco-arcillosos y francos arcillosos-limosos, con más de un 35% de arcilla. En el caso de la textura media, son suelos franco-arenosos, francos arcillo-arenosos, franco-limosos, limosos, francos arcillo-limosos, con menos de un 35 % de arcilla y menos de un 65% de arena (FAO-UNESCO, 1973). La determinación del tipo de suelo es uno de los elementos determinantes para el cálculo de la

evapotranspiración del cultivo, y que a su vez nos determinará los requerimientos de agua tanto del cultivo de aguacate como de fresa.

Figura 3.5. Tipo de textura de suelo en los municipios de estudio



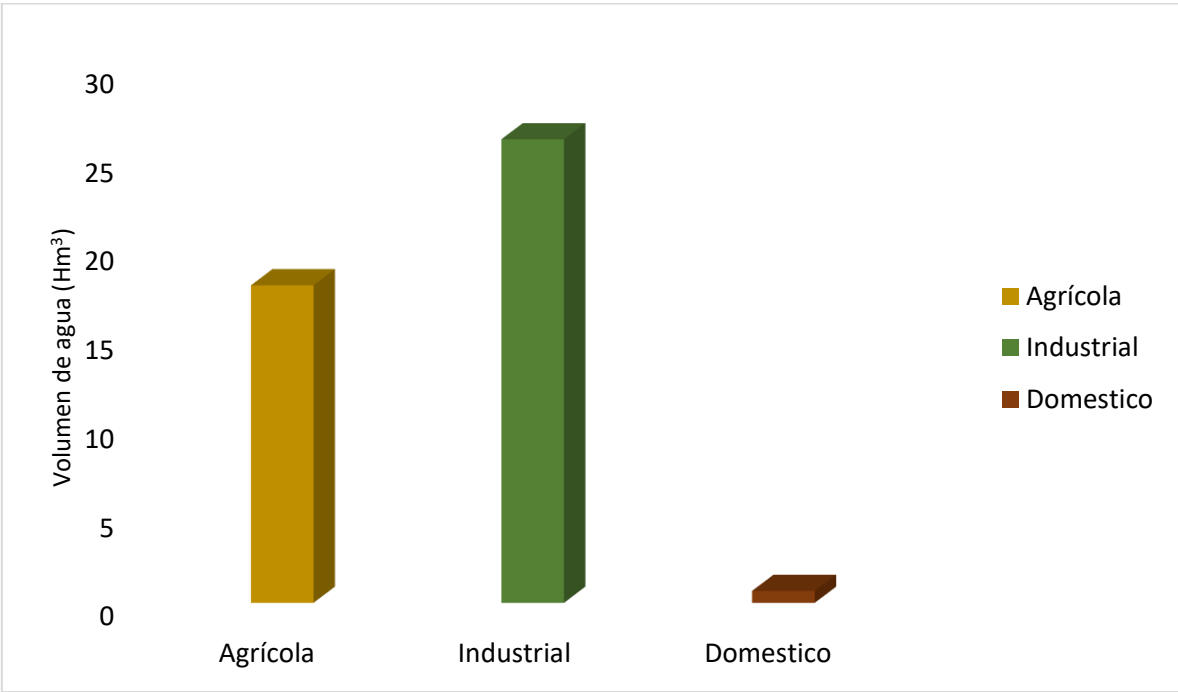
Nota: elaboración propia

3.3 Aprovechamiento de agua en los municipios objeto de estudio

En lo que respecta a los usos del agua en los municipios de estudio se determinó a partir de las estadísticas del Registro Público de Derecho de Agua (REPDA) que los mayores aprovechamientos son: industrial, agrícola y doméstico. En el caso de aprovechamiento industrial en el área se tiene un volumen concesionado de 44.64 hm³/año, para el sector agrícola el volumen es de 17.87 hm³/año y para el uso doméstico apenas alcanza el 0.67 hm³/año, prácticamente del total de agua concesionada que son 44.64 hm³/año solo un 1.50% se destina para atender las

necesidades básicas de los habitantes de los municipios mencionadas, ya que atiende a las unidades domésticas y el 98.5% es para atender a la industria y a la agricultura como se muestra en la figura 3.6.

Figura 3.6. Volumen de agua concesionados de acuerdo con sus usos en los municipios objeto de estudio

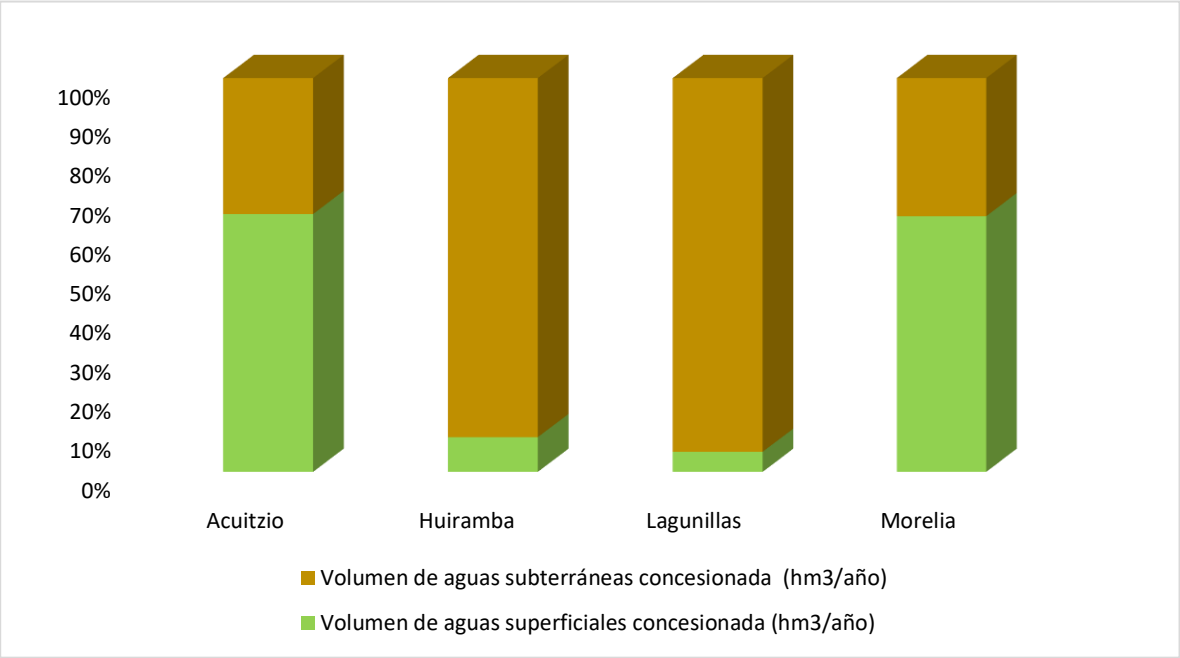


Nota: Fuente, elaboración propia a partir de estadísticas de (REPDA, 2020)

Desagregando el volumen concesionado agrícola en la zona de estudio se realizó un análisis de la cantidad de esta agua que proviene de una fuente subterránea y superficial ver figura 3.8. Determinando que el volumen de agua subterránea concesionada es de 23.13 hm³/año, esto significa un 52% del total de agua concesionada, mientras el otro 48% lo representa el volumen de agua superficial con 21.52 hm³/año. Es importante referir que al ser Morelia la capital del Estado los volúmenes concesionados son mucho mayores respecto de los demás municipios. En el caso de Acuitzio su volumen concesionado es de 2.87 hm³/año representando el 6% del total de volumen concesionado, para Huiramba el volumen es de 0.73 hm³/año representando apenas el 1.63% del total concesionado, para Lagunillas el volumen concesionado es de 2.16 hm³/año, lo cual equivale a un 5% del total

concesionado lo que significa que un 88% de volumen de agua está concesionado para el municipio de Morelia.

Figura. 3.7. Porcentaje de los volúmenes de agua superficial y subterránea concesionada en el área de estudio.



Nota: Fuente, elaboración propia a partir de estadísticas de (REPDA, 2020)

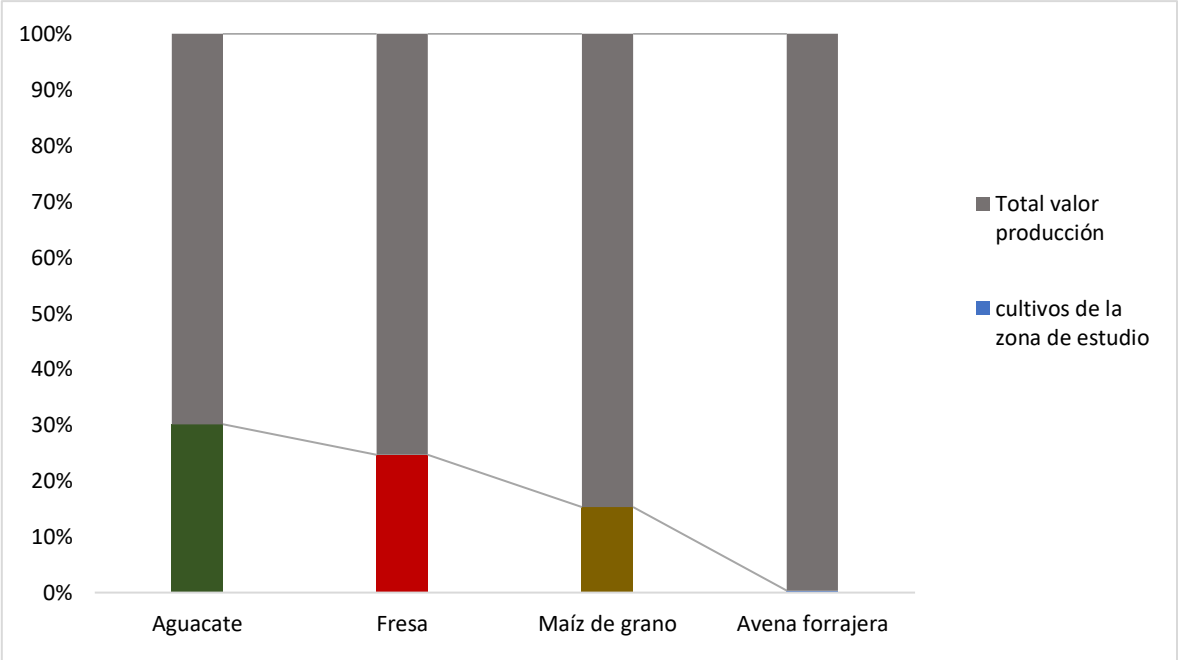
3.4 Principales actividades agrícolas y valor de la producción en el área de estudio

Los principales cultivos en los municipios son: avena forrajera, maíz en grano, aguacate y fresa, principalmente. El municipio con mayor volumen de producción de aguacate en el ciclo agrícola del 2020 fue Acuitzio con 16,793 toneladas de cultivo de riego y temporal con un valor de producción de \$ 317,842,196.6, en el caso del cultivo de la fresa el municipio de lagunillas es el que representa la mayor producción con 11,661 toneladas para este mismo año agrícola con un valor de la producción de \$ 250,711,500, para la avena forrajera el municipio de Morelia produjo el mayor volumen con 3,101.55 toneladas y con un valor de la producción \$ 1,860,930 para el último cultivo que es el maíz de grano el municipio de Morelia

tiene la mayor producción con 44,798.85 toneladas y con un valor de la producción de \$190,065,125.6

Comparando el volumen de producción y el valor de producción de los cultivos tradicionales contra los cultivos de la agricultura intensiva esta investigación encontró diferencias respecto a este, mientras que la tonelada de aguacate tiene un valor aproximadamente de \$18,927 la tonelada, la fresa de \$21,500 la tonelada y respecto a los cultivos agrícolas tradicionales el maíz en grano cultivo apenas llega a los \$4,243 por tonelada, mientras que la avena forrajera \$600 por tonelada aproximadamente porque el valor de ambos cultivos en el mercado fluctúa todo el año, al comparar el valor de la producción de un cultivo tradicional como es el maíz o la avena y uno intensivo como el aguacate o la fresa se demuestra porque uno es más atractivo para el mercado por su alto valor comercial, y ello también ratifica el supuesto de su rápido crecimiento en la zona (ver figura 3.8) esta situación ha estado generando el desplazamiento de cultivos tradicionales y de la agricultura campesina, por la agricultura intensiva o moderna.

Figura 3.8. Comparación porcentual del valor de producción de los cultivos tradicionales y los de la agricultura intensiva de los municipios de estudio en el año de 2020



Fuente: elaboración propia

Respecto al desplazamiento de los cultivos tradicionales a cultivos agrícolas intensivos Toledo (1999) refiere que estos últimos tiene una cosmovisión de la naturaleza separada de la sociedad, y es que ve a los recursos naturales como insumos aprovechables en los procesos del cultivo. que deben ser explotados para generar una mayor eficiencia en cuanto a la productividad. Este modo de producción agrícola moderno está generando daños ambientales y conflicto socioambientales en la zona de estudio.

Cuadro. 3.3. Principales cultivos de los municipios de estudio en el 2018

Municipio	Cultivo	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción	Rendimiento	Valor Producción
		(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(Pesos)
Acuitzio	Aguacate	1901	1687	17053	20	336255660
	Avena forrajera	180	180	2617	31	1726552
	Garbanzo grano	22	22	22	1	227188
	Maíz grano	1855	1855	5606	7	19655915
Huiramba	Aguacate	209	147	1607	11	33058368
	Avena forrajera	91	91	866	19	622042
	Fresa	293	293	5840	37	111076648
	Maíz grano	1410	1410	3620	3	10679000
Lagunillas	Aguacate	29	11	119	11	2345934
	Avena forrajera	132	132	1205	19	890035
	Fresa	378	378	9999	53	197371259
	Maíz grano	1340	1340	3460	3	10103200
Morelia	Aguacate	1385	1074	12974	23	253905081
	Avena forrajera	391	391	5490	31	3482700
	Fresa	220	220	13094	60	324606771
	Maíz grano	15921	15881	34696	7	124687287

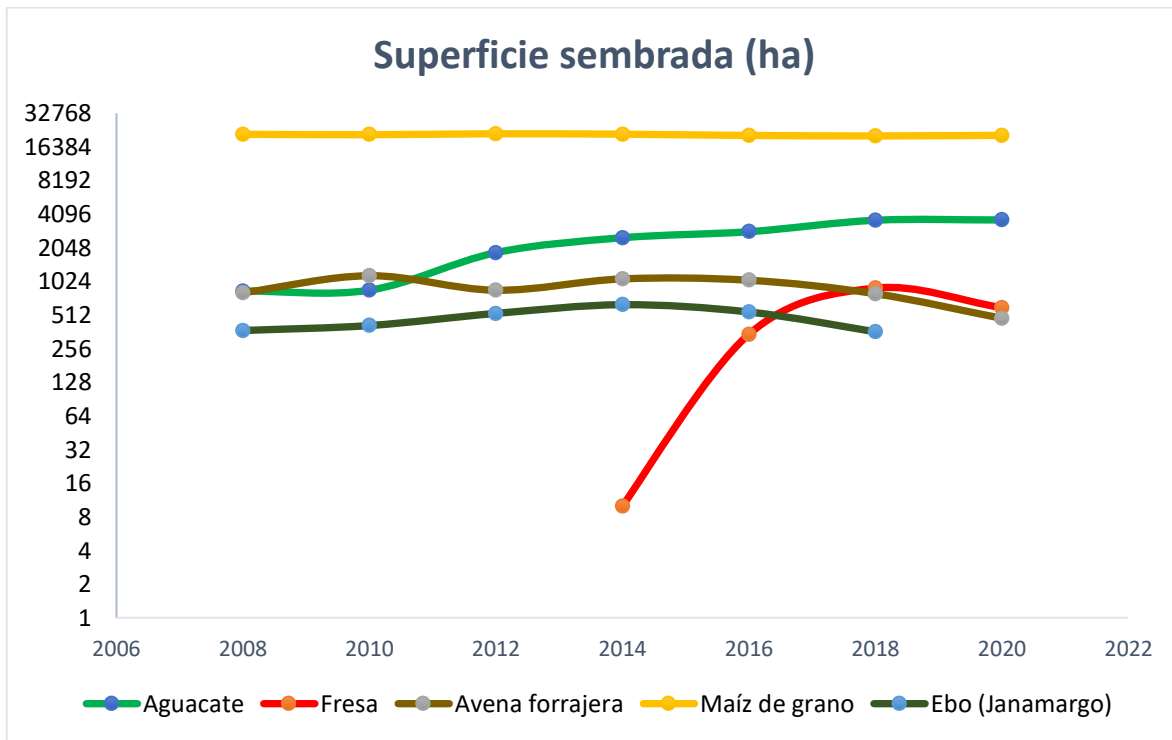
Nota: elaboración propia a partir de estadísticas del (SIAP, 2018)

Las estadísticas evidencian que en la actualidad el territorio estudiado tiene una producción agrícola principalmente basada en cultivos de exportación. Sin embargo, es importante referir que todavía para el año 2003 en el área se practicaba la agricultura bajo régimen de humedad en el 100%, el cultivo que predominaba era el

maíz a partir de semilla mejorada, principalmente en la parte baja y de origen criollo en la parte alta. En este periodo la producción se destina a la comercialización a nivel local y el autoconsumo familiar y por lo general sus ciclos de cultivo eran de abril a septiembre. Sin embargo, a partir del 2008 se evidencia un crecimiento de la agricultura intensiva o moderna ver figura 3.9 específicamente en el cultivo de aguacate en este periodo se tenía 839 ha sembradas en los municipios de estudio y para 2020 llegó a las 3,631 ha, esto significa que en más de una década la tasa de crecimiento de este cultivo fue de 77% de este fruto tropical.

En el caso de la fresa la situación es aún más catastrófica, ya que la siembra del cultivo en los municipios de Huiramba, Lagunillas y Morelia inicio hasta el año de 2014 con 10 Ha y en menos de una década se pasó a 891 Ha, lo que significa que incremento del 99%, respecto a este cultivo es importante destacar que su rápido crecimiento se debe a que la trasnacional Driscoll's es la que está inyectando el capital necesario para la producción, y los dueños de las tierras solo las rentan a esta empresa para producir este cultivo agrícola.

Figura. 3.9. Superficie sembrada de cultivos tradicionales e intensivos en los municipios de la zona de estudio en el periodo de 2006-2020



Nota: Fuente, elaboración propia a partir de estadísticas del SIAP.

Aunado a todo lo referido en el análisis, se refiere que el predominio de estos cultivos agrícolas ha originado un cambio en la producción agrícola, que en el caso del aguacate está originando cambio de uso de suelo. En este sentido, un estudio sobre la evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán evidencia que del periodo de 2007 -2014 la pérdida en bosques templados fue de 11, 156 (ha) y 9, 047 en bosques tropicales, es decir, más de 20 mil hectáreas de bosque fueron deforestadas a raíz de la expansión de los cultivos de aguacate principalmente (Mass, 2017). En el caso de la fresa no se ha desmontado ya que son tierras que se encuentran en las zonas más planas del área estudiado, sin embargo, a raíz de la llegada de la tierra se dejó de sembrar maíz que era principalmente para el consumo del ganado, para rentar las tierras a la producción de fresa

Capítulo IV

El estudio de la huella hídrica del aguacate y fresa en municipios de la Subcuenca de Cointzio

En la actualidad como se ha citado anteriormente, la cuantificación de la huella hídrica como indicador de consumo de agua desde una perspectiva ambiental representa una forma para evidenciar tanto la escasez de agua como la contaminación de tal manera que su cálculo sirve para una mejor planificación del recurso hídrico en diferentes contextos. Por otro lado, el análisis ha venido evidenciando el crecimiento tanto de la superficie sembrada como de la producción de los cultivos agrícolas de aguacate y fresa en los municipios de: Acuitzio, Huiramba, Lagunillas y Morelia.

En estos espacios que pertenecen a la subcuenca de Cointzio se ha pasado de una agricultura tradicional asociada a cultivos de temporal bajo el régimen de humedad a una agricultura basada en el uso de agua proveniente de un cuerpo superficial o subterráneo con sistemas de riego por goteo, aspersión, y ollas de agua⁹. En este contexto, la superficie sembrada de fresa en estos municipios representa un 96% de lo que se cultiva en toda la subcuenca de Cointzio, por parte del aguacate la superficie de estos municipios representa el 15% del total de la subcuenca de acuerdo con las estadísticas del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para el año 2019.

⁹ También llamadas Jagüeyes, balsas, embalses, estanques, presas o trampas de agua, son depresiones sobre el terreno, adaptadas para la captación de agua pluvial y escurrimientos.

Es importante referir que estos cultivos agrícolas se caracterizan por consumir grandes cantidades de agua para su producción, provocando dicha situación crisis hídrica que afecta tanto a la población como a los pequeños productores, que en la mayoría de los casos las empresas y asociaciones de aguacate y fresa no internalizan. Aun cuando en la zona existen dos decretos de veda federal que data de hace más de 30 años para la extracción de agua subterránea para la conservación de los mantos acuíferos, en la actualidad estos decretos son violentados y es que estos cultivos de exportación están generados la sobreexplotación de pozos de agua sin concesión para su producción (Torres, 2021).

En consecuencia, el escenario pone de manifiesto la necesidad de evidenciar el aprovechamiento de agua no concesionado que están consumiendo estos cultivos agrícolas y que están llevando a una vulnerabilidad hídrica asociada a la actividad económica descrita. En este sentido, el presente apartado hace un análisis de la huella hídrica verde y azul de acuerdo con el método referido en el capítulo dos, en el caso de Acuitzio y Morelia para la producción de aguacate se plantean dos escenarios: 1) modalidad de temporal (sólo agua de lluvia sin aporte de riego) y 2) riego; para los municipios de Huiramba y Lagunillas el escenario es sólo de temporal. En el caso del cultivo de fresa el escenario es el mismo para los cuatro municipios con una modalidad totalmente de riego durante todo el ciclo agrícola del fruto, este estudio finalmente busco evidenciar con esta estimación la sostenibilidad de estos cultivos agrícolas.

4.1 El programa CROPWAT

Para cuantificar la apropiación de agua en los municipios de estudio por parte de los cultivos agrícolas de aguacate y fresa se asistió del programa denominado CROPWAT 8.0 como ya se refirió en el capítulo de la metodología, este software estima los requisitos de agua verde y azul en función de tres elementos: datos climáticos, datos del cultivo e información del suelo de la zona estudiada. Las

primeras variables fueron: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), precipitación (mm), humedad relativa (%), velocidad del viento (Km/día) e insolación (horas) ha estas variables se realizó un tratamiento para estimar promedios mensuales de las series de tiempo de cada estación meteorológica (Gómez,2020). En las figuras 4.1 y 4.2 se puede apreciar un ejemplo de cómo se agrupan las variables en el programa descrito, las cuales permitieron determinar la ETo (evapotranspiración de referencia) y finalmente la evapotranspiración del cultivo (ETc).

Figura 4.1 Variable climatológicas que alimentan al CROPWAT 8.0

CROPWAT - Sesión: untitled - [ETo Penman-Monteith Mensual - D:\Clima-acuitzio 2012.PEM]

Archivo Edición Cálculos Gráficos Configuración Ventana Lenguaje Ayuda

Nuevo Abrir Guardar Cerrar Imprimir Gráfico Opciones

País México Estación Villa Madero-Acuitzi

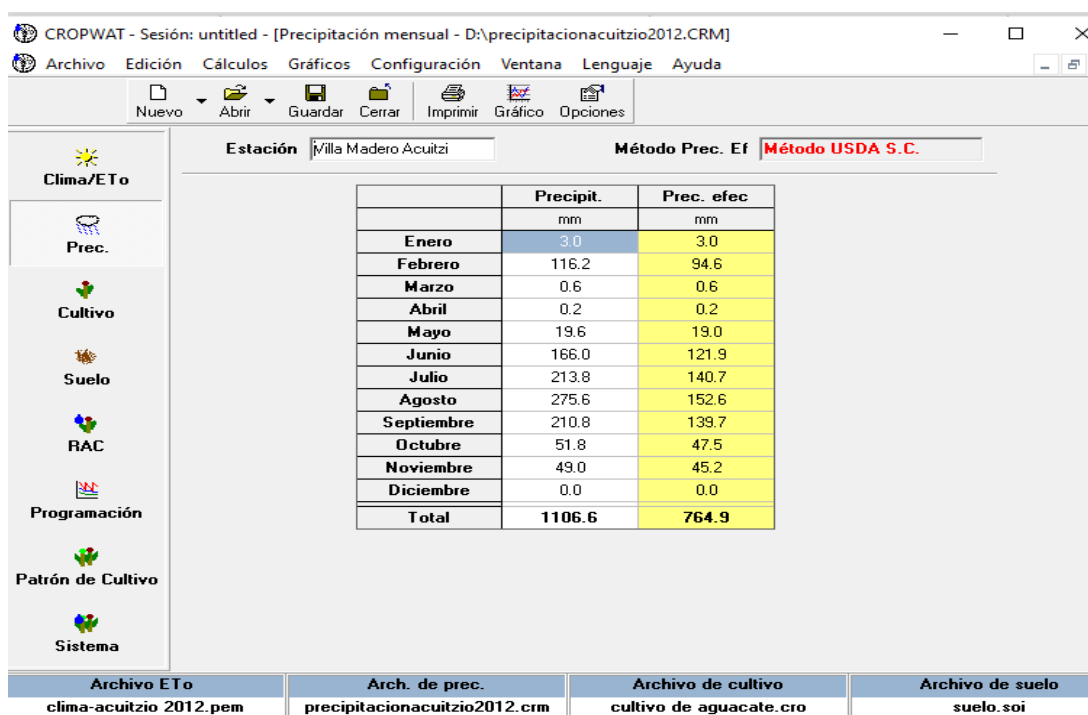
Altitud 2308 m. Latitud 19.44 °N Longitud 101.20 °E

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día
Enero	1.9	24.1	65	188	11.1	20.6	3.71
Febrero	6.1	23.8	76	162	11.5	23.3	3.89
Marzo	2.6	24.5	62	170	12.0	26.3	4.74
Abril	5.6	27.9	46	184	12.6	28.7	5.92
Mayo	7.7	27.1	67	161	13.0	29.5	5.61
Junio	10.5	25.9	82	141	13.3	29.8	5.31
Julio	11.0	25.4	87	141	13.2	29.6	5.18
Agosto	10.2	25.1	89	152	12.8	28.9	4.96
Septiembre	9.9	23.8	87	154	12.3	27.1	4.49
Octubre	8.4	23.8	84	155	11.7	24.1	3.94
Noviembre	7.9	24.1	76	185	11.2	21.1	3.62
Diciembre	5.8	22.8	69	174	11.0	19.7	3.35
Promedio	7.3	24.9	74	164	12.1	25.7	4.56

Archivo ETo clima-acuitzio 2012.pem Arch. de prec. precipitacionacuitzio2012.crm Archivo de cultivo cultivo de aguacate.cro Archivo de suelo suelo soi

Nota: elaboración propia

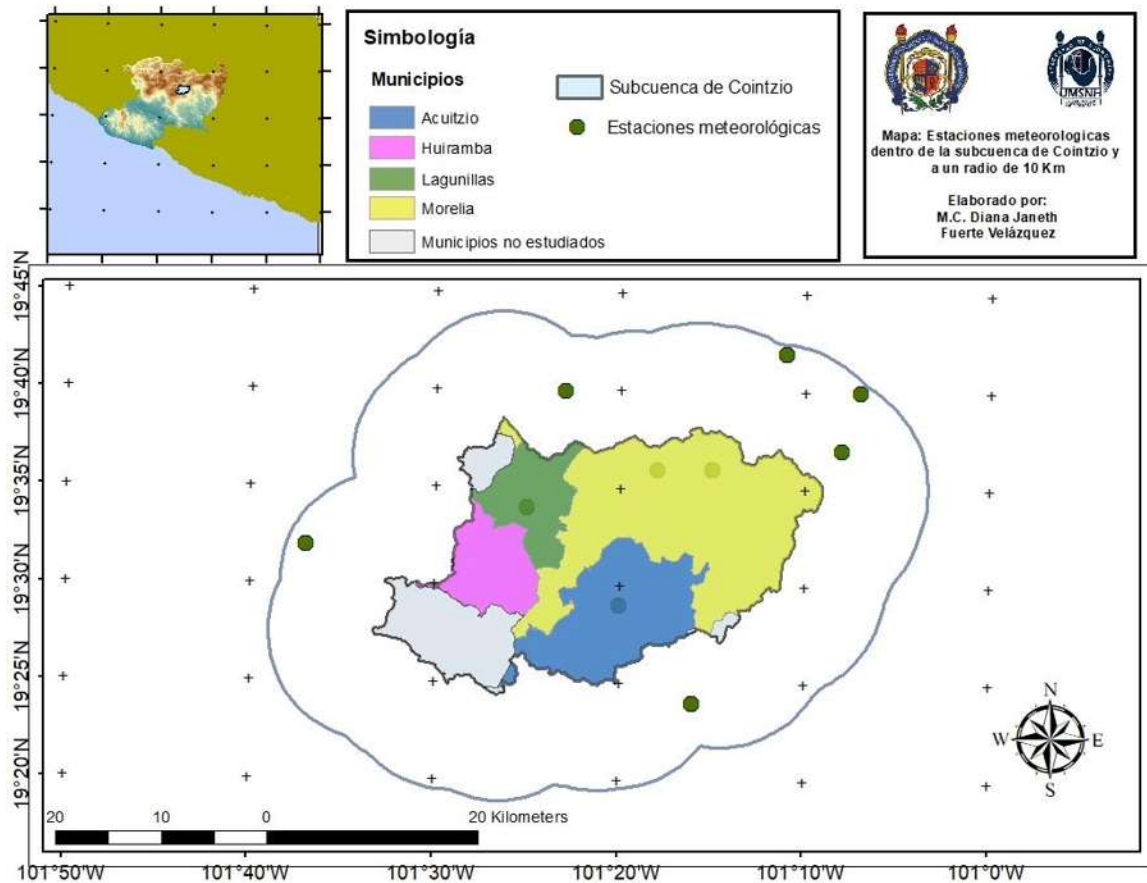
Figura 4.2. Precipitación pluvial promedio



Nota: elaboración propia

Para establecer el origen de los datos, primero se determinaron las estaciones meteorológicas existentes dentro de la cuenca y a un radio de 10 Km encontrando cuatro estaciones en la zona de estudio seis más fuera de la zona como se puede observar en la figura 4.3. En el municipio de Morelia y Acuitzio se encontraron estaciones meteorológicas, sin embargo, Huiramba y Lagunillas no cuentan con ningún sitio para medir las variables climáticas, esta situación generó la necesidad de hacer una serie de cálculos adicionales para poder predecir los datos climatológicos y a su vez adicionar otra estación que se localiza en un espacio geográfico con condiciones climatológicas similares a los municipios estudiados, en consecuencia las tres estaciones meteorológicas que se analizaron fueron: Morelia, Acuitzio y Alto Fresno (ver cuadro 4.1).

Figura 4.3. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la Subcuenca de Coitzio



Nota. Fuente: elaboración propia

Cuadro 4.1. Estaciones de medición en el polígono de estudio

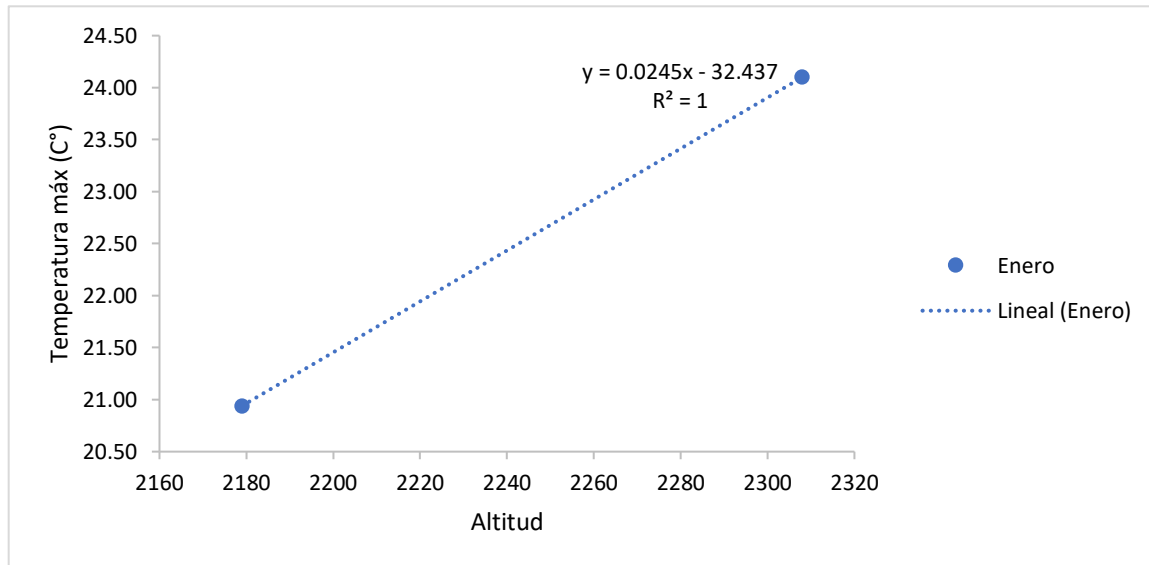
Municipio	Nombre de la estación	Clave	Periodo	Altura (msnm)	Latitud	Longitud
Acuitzio del canje	Villa Madero-Acuitzio del Canje-El castillo	A-2308	2012-2017	2308	19°26.72´	101°17.58´
Morelia	RUOA-Morelia		2015-2020	1936	19° 64.93´	101°22.21´
Morelia	Alto-Fresno		2012-2017	2179	19° 37´	101°12.00´

Nota: elaboración propia

Ante la falta de datos climatológicos para los municipios de Huiramba y Lagunillas se procedió a realizar interpolaciones entre los datos; esto consistió en cruzar cada variable climática de las tres estaciones meteorológicas con las altitudes a partir de la construcción de una regresión lineal por cada mes de los periodos estudiados ver

el ejemplo en la figura 4.4. Ante este escenario el Manual de la FAO 56 refiere que cuando se carezca de datos se puede calcular con las variables de una región cuyos mecanismos atmosféricos de precipitación y nubosidad sean casi idénticos a la región a analizar, también se debe tomar en cuenta que la fisiografía debe ser casi homogénea (FAO, sf, pp. 59).

Figura 4.4 Regresión lineal para determinar la temperatura máxima en los municipios de Huiramba y Lagunillas en el mes de enero de 2012



Nota: elaboración propia

Respecto a los datos del cultivo y suelo (ver cuadros 4.2. y 4.3), fueron obtenidos del manual de estudio de la FAO de riego y drenaje 56 y de fuentes adicionales que consideran al aguacate como un árbol frutal perenes con tres flujos vegetativos (invierno, primavera y verano) y cuatros floraciones durante el año (**loca** (agosto-septiembre), **aventajada o adelantada** (octubre-diciembre), **normal** (diciembre-febrero) y **marceña** (febrero-marzo), situación que origina que la mayor parte del año se esté cosechando (Rocha et.al.,2011). Respecto a la fresa es una hortaliza con letargo invernal y suelo inicialmente desnudo, para los datos de suelo el tipo de textura de cada municipio se determinó mediante análisis cartográfico.

Cuadro 4.2. Datos de entrada del cultivo y de suelo para el análisis del requerimiento de agua del cultivo de aguacate

Datos del cultivo de aguacate			
Kc-inicial	Kc-desarrollo	Kc-final	0.6- 0.85- 0.75
Profundidad radicular (m)			1.5
Agotamiento critico (fracción)			10.5
Respuesta rendimiento			1.1-1.3
Altura (m)			3
Datos del suelo para textura media			
Humedad del suelo disponible (CC-PMP) (mm/metro)			250
Tasa máxima de infiltración (mm/día)			300

Nota: elaboración a partir del Manual 56 de la FAO

Cuadro 4.3. Datos de entrada del cultivo y de suelo para el análisis del requerimiento de agua del cultivo de fresa

Datos del cultivo de fresa			
Kc-inicial	Kc-desarrollo	Kc-final	0.4- 0.85- 0.75
Profundidad radicular (m)			0.3
Agotamiento critico (fracción)			0.2
Respuesta rendimiento			1.0-1.5
Altura (m)			0.2
Datos del suelo para textura media			
Humedad del suelo disponible (CC-PMP) (mm/metro)			250
Tasa máxima de infiltración (mm/día)			300

Nota: elaboración a partir del Manual 56 de la FAO

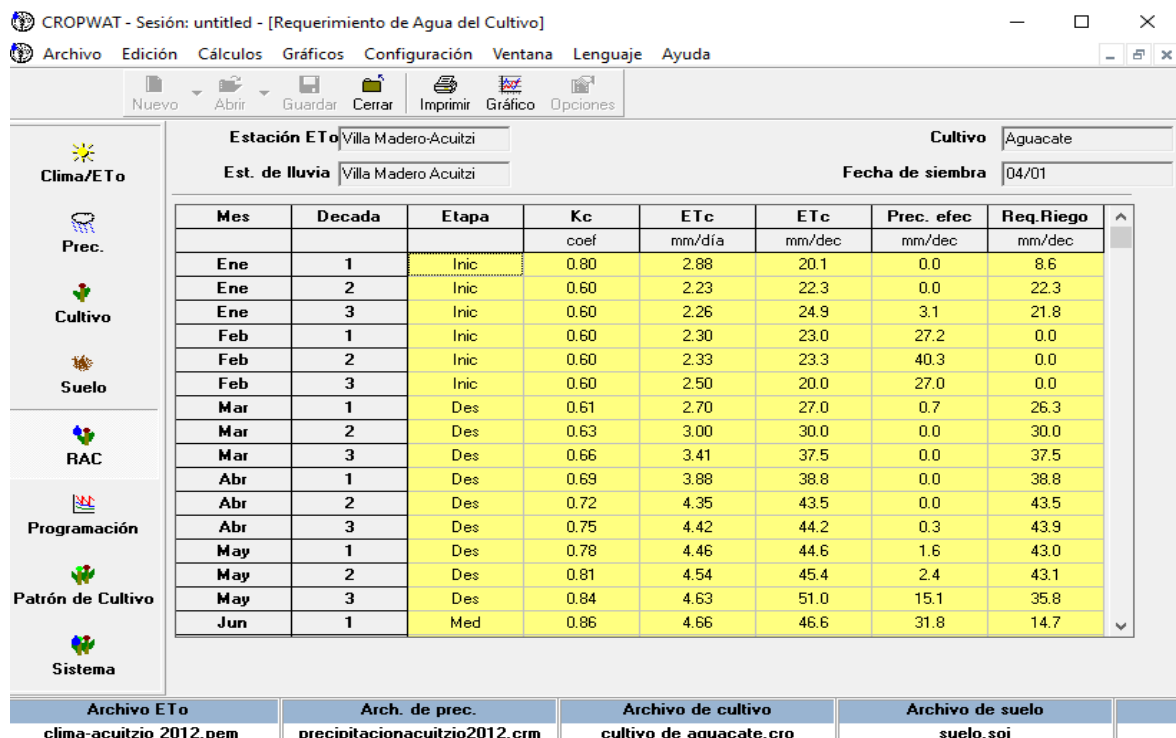
Finalmente, todos los datos auxiliaron en la determinación de la ETc (evapotranspiración del cultivo), el cual evidencio el requerimiento del cultivo, básicamente con ella se obtienen dos elementos primordiales para el cálculo de la huella hídrica verde y azul:

1. Precipitación efectiva (huella hídrica verde): se entiende como la parte de la precipitación que puede ser efectivamente utilizada por las plantas.

2. Requerimiento de riego (huella hídrica azul): expresa la diferencia entre la ETc, y la precipitación efectiva durante el periodo de tiempo estudiado, en otras

palabras, es la cantidad de agua que se debe adicionar al cultivo para garantizar sus óptimas condiciones de desarrollo del cultivo (ver figura 4.5).

Figura 4.5 Requerimiento de agua del cultivo



Nota: elaboración propia

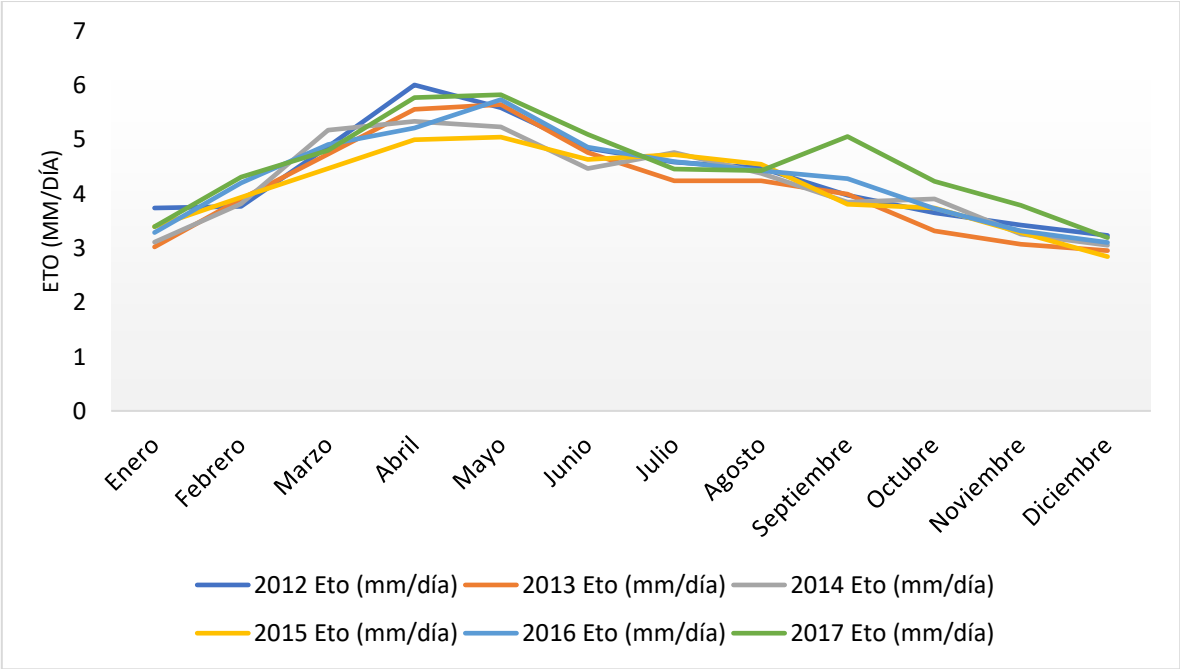
En definitiva, el programa CROPWAT 8.0 facilita la estimación de las necesidades de agua de algún cultivo agrícola bajo ciertas condiciones climáticas, esta herramienta finalmente permite realizar una evaluación de las condiciones ecosistémicas y sociales de un territorio y con ello tomar decisiones respecto a un mejor uso del recurso hídrico en un espacio geográfico.

4.2 La huella hídrica del aguacate en Acuitzio

Para el municipio de Acuitzio la cuantificación de la apropiación de agua por parte del cultivo de aguacate se realizó del periodo de 2012 a 2017 con datos climáticos de la estación Villa-Madero-Acuitzio-El Castillo que pertenece a la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México (APEAM). Se determinó una ETo (evapotranspiración de referencia) muy similar entre los meses

y los años estudiados (ver figura 4.6) este factor es atribuido a las condiciones meteorológicas (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) lo que genera que las variables se encuentren estrechamente relacionados y su diferenciación respecto a la media mensual sea poca, no debemos dejar de lado que la ETo solo está expresando el poder evaporativo de la atmósfera del municipio de Acuitzio en los años indicados.

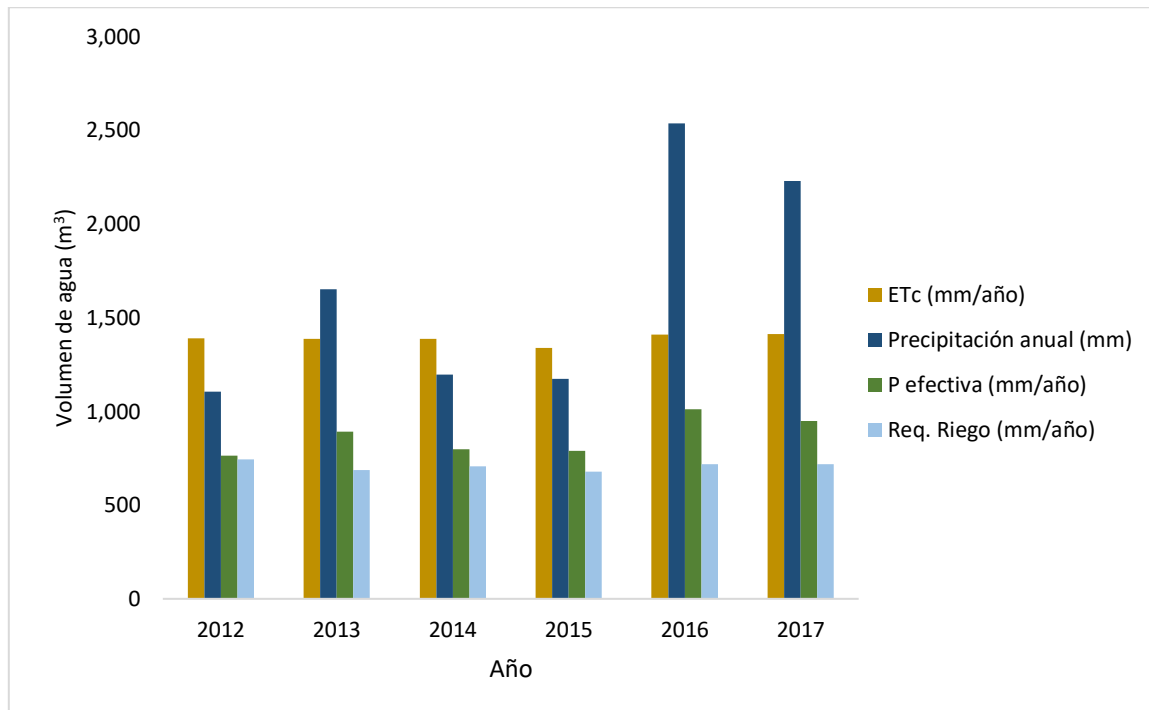
Figura 4.6. Evapotranspiración de referencia mensual promedio del municipio de Acuitzio del periodo 2012 a 2017



Nota: elaboración propia

Se estimó una precipitación anual promedio en el periodo de 2012 a 2017 de 1,577.33 (mm/año), con una lámina de evapotranspiración promedio para el cultivo (ETc) de 1,377.63 (mm/año) con este conjunto de datos se determinó el requerimiento de agua del cultivo de aguacate. En la figura 4.7 la variable de precipitación se adiciona con la finalidad de observar si cambian los requerimientos de agua con una menor o mayor precipitación y el resultado es negativo, y se mantiene la tendencia, por lo que se evidencia que los cambios en la ETc están dados por la variable de radiación solar.

Figura 4.7 Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), precipitación total, requerimiento de riego y precipitación efectiva para los años 2012 a 2017 en el municipio de Acuitzio



Nota: elaboración propia

Para este caso el requerimiento de riego promedio para el periodo estudiado fue de 709.62 (mm/año), mientras que la precipitación efectiva, es decir el flujo de agua verde promedio fue de 867.82 (mm/año) esto significa que más del 55% del agua apropiada por el cultivo de aguacate proviene del flujo verde y el resto de los flujos azules (ver cuadro 4.4). Asimismo, la estimación evidencia un mayor requerimiento de agua total que una ETc, esto significa que existe una pérdida por evaporación de agua de 199.70 (mm/año).

Cuadro 4.4. Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva para los años 2012 a 2017 en el municipio de Acuitzio.

Año	ETc (mm/año)	Precipitación efectiva (mm/año)	Requerimiento de riego (mm/año)	Total (mm/año)
2012	1,381.20	765.10	751.00	1,510.20
2013	1,361.10	892.50	686.90	1,579.40
2014	1,372.10	797.70	707.80	1,505.50
2015	1,335.30	790.50	679.90	1,470.40
2016	1,403.10	1,011.10	718.80	1,729.90
2017	1,413.00	950.00	718.60	1,668.60
Promedio	1,377.63	867.82	709.52	1,577.33

Nota: elaboración propia

De acuerdo con la literatura revisada los componentes verde y azul en el uso de agua del cultivo se calculan por acumulación de la evapotranspiración diaria durante todo el periodo de desarrollo del cultivo (mm/días) y para convertir esta profundidad de agua a volumen de agua por superficie (m³/ha) es necesario multiplicar el requerimiento de agua verde y azul por 10 ya que es necesario transformar los mm a metros cúbicos por hectárea (Hoekstra et al., 2011, citado en Rezaei et al., 2019). La suma se realiza a lo largo del período de crecimiento del aguacate que abarca desde la floración hasta la cosecha. En este contexto, la cantidad promedio de agua verde y azul que consume el cultivo de aguacate por hectárea en un ciclo vegetativo (está conformado por 365 días) es de 8,636.50 (m³/ha) para el flujo verde y 7,148.83 (m³/ha) para el azul, estas cifras evidencian una mayor apropiación del agua de lluvia, agua que no engendra ningún costo al ser un servicio ecosistémico que nos brinda la naturaleza.

La estimación del consumo de agua que se refiere en el párrafo anterior permitió determinar la huella hídrica del aguacate o productividad del agua, esta se refiere a la eficiencia en el uso del recurso hídrico. De acuerdo con la SEMARNAT se puede medir en términos de la biomasa producida por la unidad de volumen de agua usada ya sea verde o azul y es expresada en (m³/ton) o (Lts/Kg). Se estimo que en

promedio para producir un kilogramo de aguacate bajo la modalidad de temporal es necesario 1,292.49 (m³/ton) bajo este escenario también se requiere agua azul en la época de estiaje que comprende de los meses de abril a mayo. Para la modalidad de riego el consumo oscila en 2,157.93 (m³/ton) y es que a los 865.44 (m³/ton) se suma el volumen de agua usada para la modalidad de temporal, situación que indica que bajo el segundo escenario existe un 40% de mayor uso de agua (ver cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Huella hídrica del cultivo de aguacate en el municipio de Acuitzio

Año	HH modalidad temporal (m ³ /ton)	HH modalidad riego (m ³ /ton)	Total (m ³ /ton)
2012	1,391.09	1,365.45	2,756.55
2013	1,275.00	688.70	1,963.70
2014	1,595.40	790.22	2,385.62
2015	1,097.92	852.88	1,950.79
2016	1,162.18	784.46	1,946.64
2017	1,233.33	710.94	1,944.27
Promedio	1,292.49	865.44	2,157.93

Nota: elaboración propia.

La Huella hídrica agregada de uso directo del cultivo de aguacate para los años agrícolas de 2012 a 2017, se determinó para cada año agrícola considerando la huella hídrica verde para la producción de temporal y la azul para la modalidad de riego, en este sentido se estimó un promedio anualmente de 17,951,921.84 (m³) en un año agrícola de los cuales 1,405,722.89 (m³) fueron apropiados para una producción promedio de temporal de 1,139.62 (ton) y para la modalidad de riego se consumió en promedio 16,546,198.95 (m³) para 7,963.61 (ton) (ver cuadro 4.6 y figura 4.8).

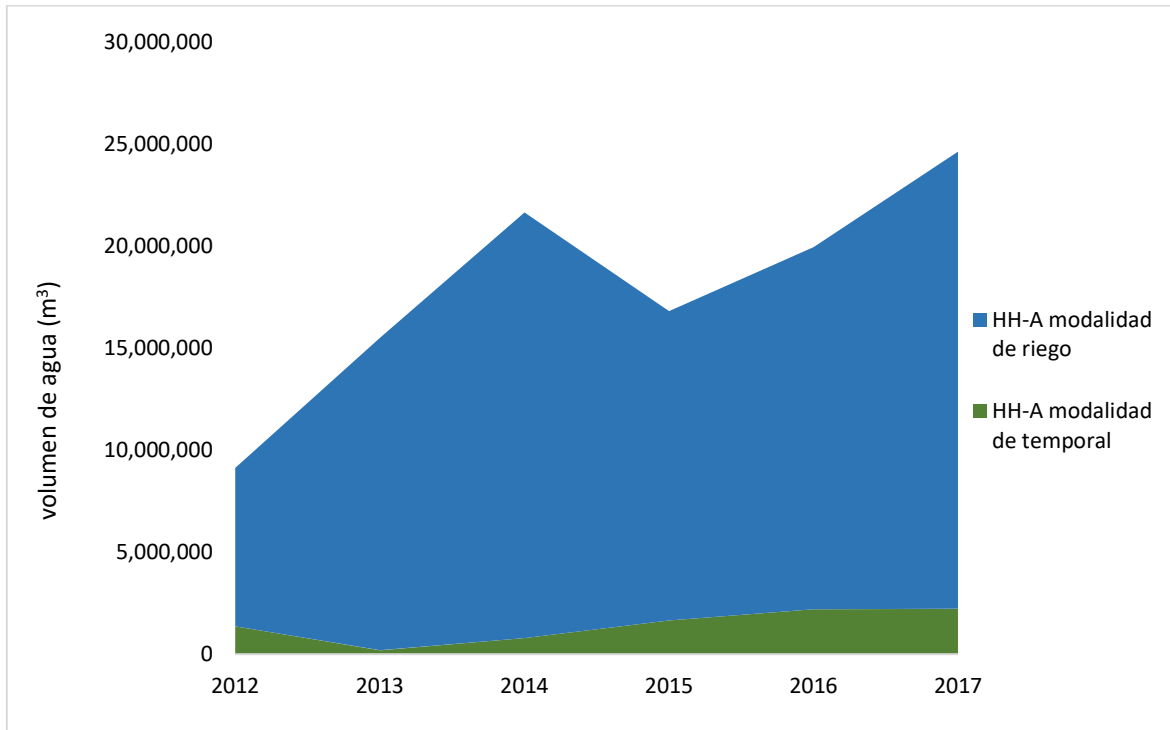
Cuadro 4.6. Huella hídrica agregada de uso directo agregada para un año agrícola del cultivo de aguacate en el periodo de 2012 a 2017 en el municipio de Acuitzio

Año	HH-A modalidad temporal (m ³)	HH-A modalidad riego (m ³)	Total (m ³)
2012	1,365,703.50	7,777,593.00	9,143,296.50
2013	196,350.00	15,316,860.00	15,513,210.00
2014	788,526.45	20,869,423.20	21,657,949.65
2015	1,650,959.25	15,169,356.00	16,820,315.25
2016	2,212,798.16	17,730,001.03	19,942,799.20
2017	2,220,000.00	22,413,960.46	24,633,960.46
Promedio	1,405,722.89	16,546,198.95	17,951,921.84

Nota: elaboración propia

El análisis demostró que la modalidad de riego es la que tiene un excesivo consumo de agua y es que este escenario se apropia de un 92% del total de agua usado; es de suma importancia referir que para este escenario el consume de agua es tanto azul como verde, aunado a ello suma que bajo esta modalidad se produce más del 87.5% del total de producción. Aun cuando el consumo de agua verde solo representa un 8% del consumo total, para un 12.5% del total de producción esta juega un papel fundamental en la producción en ambas modalidades.

Figura 4.8. Huella hídrica agregada de uso directo agregada para un año agrícola del cultivo de aguacate en el periodo de 2012 a 2017 en el municipio de Acuitzio



Nota: elaboración propia

Hay que mencionar además del desproporcionado consumo de agua, el destino de esta, y es que el aguacate es un fruto principalmente de exportación, situación que conlleva un comercio virtual de agua. En este caso la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México (APEAM) indica que un 70% de la producción en Michoacán es para la exportación. Esto significa, que de las 54,619.42 toneladas que se produjeron bajo la modalidad de riego y temporal en el periodo referido en el municipio de Acuitzio, aproximadamente se exportaron 38,233.59 toneladas, es decir, 12,566,345.29 (m³) de agua a otros países por medio de un alimento como es el aguacate. En este contexto, un estudio referente en el tema realizado por (Caro et al., 2021) evidencia que México es el país mayor exportador de agua virtual de agua para el año de 2016, refiere que de 2000 a 2016, el agua virtual relacionada con el aguacate de exportación creció un 867%, la autora menciona que este incremento está asociado a la demanda internacional de países como EE.UUU, Japón, Canadá y la UE, lo que ocasiona cargas ambientales ya que es un cultivo agrícola que contiene más del 72% de agua. Además de la carga

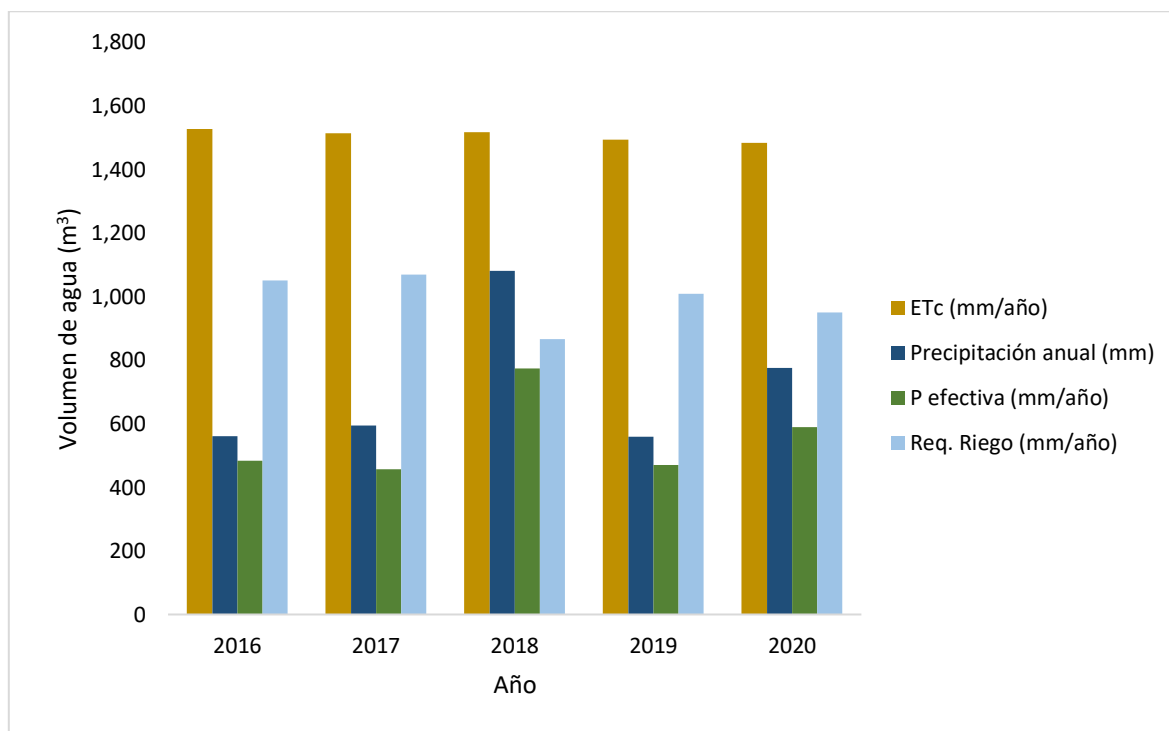
ambiental, también existe una deuda ecológica por la apropiación del recurso agua por medio de mercancías por parte de los países importadores de este producto agrícola.

4.3 La huella hídrica del aguacate y la fresa en Morelia

Para el municipio de Morelia se determinó la huella hídrica del cultivo de aguacate y de fresa, los datos fueron obtenidos del Observatorio Atmosférico de Morelia de la UNAM de una serie de tiempo de 2016 a 2020. Las variables fueron agrupadas, y se estimó promedios mensuales de cada una. En este caso se estimó una lámina de evapotranspiración del cultivo promedio de 1,507.40 (mm/año) lo que indica que esta es 8% mayor que la del municipio de Acuitzio, a su vez se obtuvo una precipitación promedio de 714.38 (mm/año) lo que indica un 57% menos que la del municipio antes referido es importante referir que en este territorio la temperatura es aproximadamente de 2 a 3°C mayor, aunque los años estudiados son diferentes y las variaciones climáticas son variables año con años, las variaciones cambian el escenario del uso directo de agua respecto a la precipitación efectiva y el requerimiento de riego para el cultivo de aguacate (ver figura 4.9).

Al presentarse un escenario de condiciones climatológicas diferentes se cuantifica un requerimiento de riego promedio de 989.14 (mm/año) y una precipitación efectiva de 554.80 (mm/año), esto significa que más de un 64% del agua que es apropiada por el cultivo en este municipio proviene de alguna fuente de agua superficial o subterránea a diferencia del municipio anterior el flujo azul genera una mayor aportación de agua al cultivo de aguacate en este municipio (ver cuadro 4.7).

Figura 4.9. Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), precipitación total, requerimiento de riego y precipitación efectiva para los años 2016 a 2020 en el municipio de Morelia



Nota: elaboración propia

Cuadro 4.7. Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), precipitación total y requerimiento de riego para los años 2016 a 2020 en el municipio de Morelia

Año	ETc (mm/año)	Precipitación efectiva (mm/año)	Requerimiento de riego (mm/año)	Total (mm/año)
2016	1,527.10	483.20	1,051.50	1,534.70
2017	1,514.80	457.20	1,069.00	1,526.20
2018	1,517.70	773.90	865.80	1,639.70
2019	1,493.90	470.80	1,009.10	1,479.90
2020	1,483.50	588.90	950.30	1,539.20
Promedio	1,507.40	554.80	989.14	1,543.94

Nota: elaboración propia

Al convertir la lámina de profundidad en unidades de volumen por superficie se determina que en promedio para una hectárea de aguacate en el municipio de Morelia se necesita 15,439.40 de los cuales 5,548 m³ de provienen del flujo verde y 9,891.4 m³ del azul, lo que significa un 64% situación que viene a comprobar que el mayor consumo de agua para el municipio de morelia es el flujo azul.

La estimación de la huella hídrica que es la relación de agua por cada kilogramo producido en el municipio de Morelia fue de 582.98 (m³/ton) para la modalidad de temporal y 1,418.72 (m³/ton) para la modalidad de riego y es que a este último escenario se suma la cantidad de agua requerida para la modalidad de temporal, esto significa que esta última forma de producción requiere un 41% más de agua (ver cuadro 4.8). La estimación del uso de agua en el cultivo de aguacate en Morelia si bien indica un menor consumo respecto a Acuitzio y al estudio realizado por (Mekonnen & Hoekstra, 2011) es importante señalar que el consumo de agua en los productos agrícolas primarios varía de un país a otro, y de una región a otra por las condiciones climatológicas de cada espacio.

Cuadro 4.8. Huella hídrica del cultivo de aguacate en el municipio de Morelia

Año	HH modalidad temporal (m ³ /ton)	HH modalidad riego (m ³ /ton)	Total (m ³ /ton)
2016	530.99	841.20	1,372.19
2017	571.50	828.68	1,400.18
2018	744.13	678.00	1,422.13
2019	448.38	925.78	1,374.16
2020	619.89	905.05	1,524.94
Promedio	582.98	835.74	1,418.72

Nota: elaboración propia

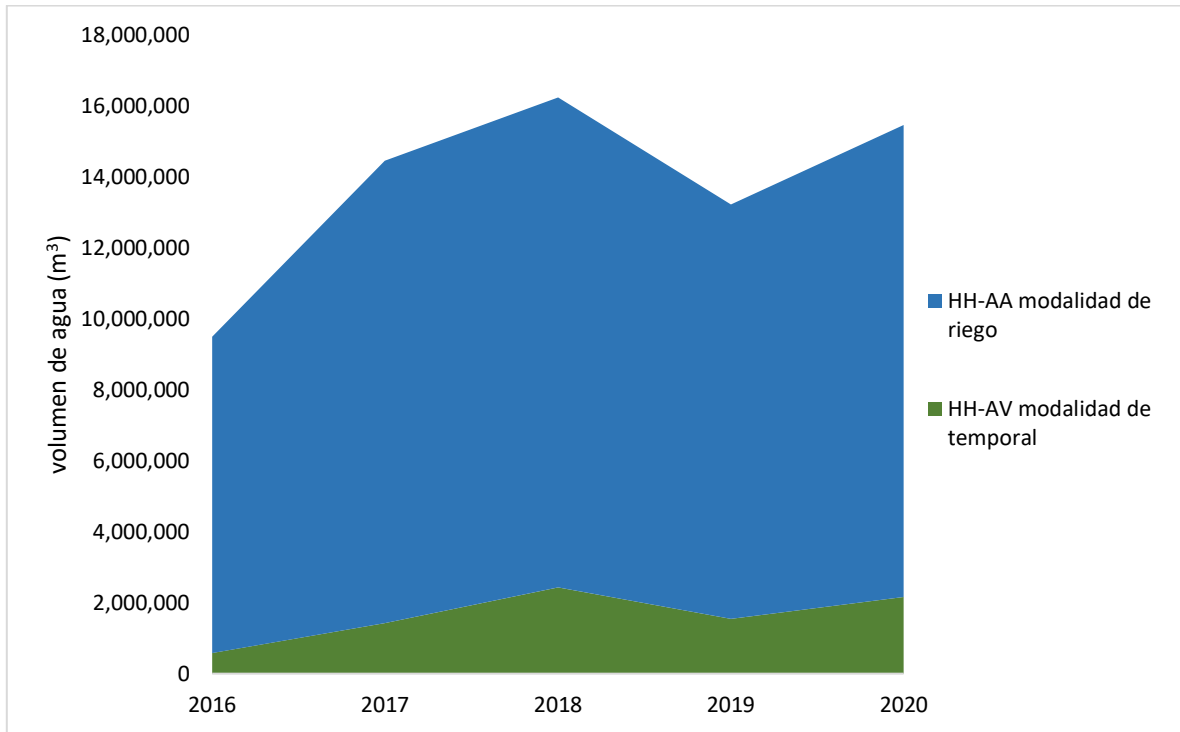
La cuantificación de la huella hídrica agrícola es una forma de comprender como el agua se incorpora a la agricultura, y como esta demanda puede representar para la zona de estudio una carga ambiental, en este sentido, se determinó una huella hídrica agregada para un ciclo agrícola. En este caso se estimó un promedio anual de 13,775,570.40 (m³) de los cuales 1,627,716.40 (m³) fueron usados por la modalidad de temporal para una producción promedio de 2,755.52 (ton) lo que representa un 12% del total del agua usada y 12,147,854.00 (m³) son para una producción promedio de riego de 8,547.76 (ton) (ver cuadro 4.9) en el cuadro además de evidenciar el consumo de agua, también se puede apreciar que la demanda de agua tiene una tendencia exponencial lo cual se demuestra en la figura 4.10 y es que los volúmenes de producción año con año van aumentando situación que es atribuida al alto valor comercial que tiene este cultivo agrícola principalmente en los mercados internacionales.

Cuadro 4.9. Huella hídrica agregada de uso directo agregada para un año agrícola del cultivo de aguacate en el periodo de 2012 a 2017 en el municipio de Morelia

Año	HH-A modalidad temporal (m ³)	HH-A modalidad riego (m ³)	Total (m ³)
2016	579,840.00	8,919,228.57	9,499,068.57
2017	1,417,320.00	13,041,016.70	14,458,336.70
2018	2,430,046.00	13,806,037.23	16,236,083.23
2019	1,544,224.00	11,683,114.86	13,227,338.86
2020	2,167,152.00	13,289,872.63	15,457,024.63
Promedio	1,627,716.40	12,147,854.00	13,775,570.40

Nota: elaboración propia

Figura 4.10. Huella hídrica agregada de uso directo agregada para un año agrícola del cultivo de aguacate en el periodo de 2012 a 2017 en el municipio de Morelia



Nota: elaboración propia

Respecto al cultivo de fresa en el municipio de Morelia tiene sus inicios en el año 2016, con la llegada de la trasnacional Driscoll's al corredor agrícola Huiramba-Lagunillas-Tiripetio. En este periodo se tenía una superficie sembrada de 85 (ha) que en cinco años pasó a 151.67 (ha), lo que significa un crecimiento del 43.95% del cultivo en el municipio. De acuerdo con las estimaciones se determinó una lámina de evapotranspiración promedio del cultivo de 967.90 (mm/año) durante el periodo evaluado 2016-2020, un requerimiento de riego promedio de 710.22 (mm/año) y una precipitación efectiva de 311.70 (mm/año), esto significa que aproximadamente el 70% del agua apropiada para este cultivo proviene de alguna fuente de agua superficial o subterránea (ver cuadro 4.10).

Cuadro 4.10. Evapotranspiración del cultivo de fresa (ETc), precipitación, requerimiento de riego y precipitación efectiva para los años 2016 a 2020 en el municipio de Morelia

Año	ETc (mm/año)	Precipitación efectiva (mm/año)	Requerimiento riego (mm/año)	Total (mm/año)
2016	985.10	300.20	718.50	1,018.70
2017	979.40	250.70	743.00	993.70
2018	946.90	491.20	617.80	1,109.00
2019	965.90	219.40	736.30	955.70
2020	962.20	297.00	735.50	1,032.50
Promedio	967.90	311.70	710.22	1,021.92

Nota: elaboración propia

El consumo promedio de agua para una hectárea en un ciclo agrícola fue de 10,219.20 (m³/ha/año) de los cuales 3,117 (m³/ha/año) provienen del flujo verde lo que representa un 30% del total y un flujo azul de 7,102.20 (m³/ha/año) con ello se evidencia un mayor consumo de agua azul para la fresa al igual que el aguacate dicha condición atribuida a los factores climáticos del municipio. Respecto a la huella hídrica se estimó que el cultivo de fresa usa de manera directa 201.98 (m³/ton) de los cuales 60.46 (m³/ton) provienen del flujo verde y 141.42 (m³/ton) del azul (ver cuadro 4.11). Si bien otra serie de estudios ya han estimado la huella hídrica de la fresa como el de Peniche y Ávila (2018) sobre la exploración del concepto de exportación de agua virtual: el caso de la fresa mexicana, utilizando el mismo método del requerimiento de agua del cultivo a partir de factores climatológicos y parámetros del cultivo de fresa, determino que el promedio de agua contenida en la fresa en el valle agrícola de Zamora, en el periodo de 1997 a 2006 es de 476.6 (m³/ton), refieren los autores que es significativamente más elevada que la media mundial que alcanza 276 (m³/ton). Otro estudio de referencia es el de (Mekonnen & Hoekstra, 2011) los autores estimaron que el promedio global de agua usada para el cultivo de fresa es de 238 (m³/ton) sin contabilizar el agua gris.

Cuadro 4.11. Huella hídrica del agua verde y azul de la fresa en el municipio de Morelia

Año	HH verde (m ³ /ton)	HH azul (m ³ /ton)	Total (m ³ /ton)
2016	66.71	159.67	226.38
2017	45.58	135.09	180.67
2018	82.53	103.80	186.32
2019	48.76	163.62	212.38
2020	58.73	145.44	204.17
Promedio	60.46	141.52	201.98

Nota: elaboración propia

Los datos señalan una tendencia hacia el descenso de agua en el cultivo de fresa, y en el caso de la estimación del presente estudio es mucho menos que la media mundial. Para dar una explicación de este fenómeno; es decir, el descenso de los niveles necesarios de agua para el desarrollo metabólico de la fresa, se plantea la hipótesis que en él influye el cambio de las especies cultivadas hacia fresas estandarizadas por las grandes comercializadoras.

Cuadro 4.12. Huella hídrica agregada de uso directo agregada para un año agrícola del cultivo de fresa en el periodo de 2016 a 2020 en el municipio de Morelia

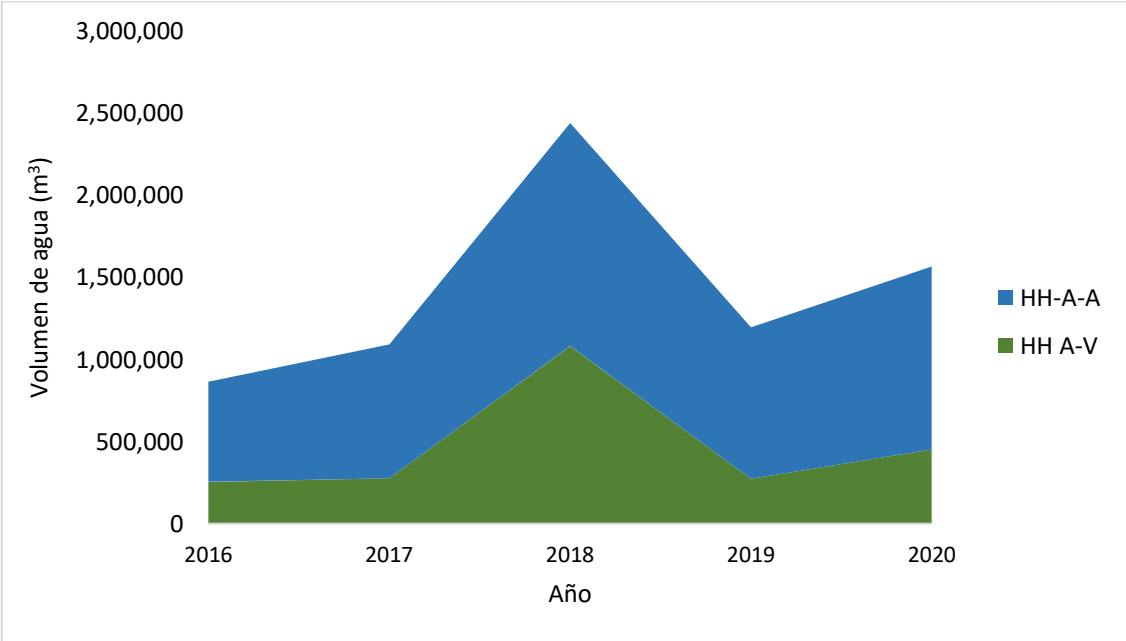
Año	HH- A verde (m ³)	HH- A azul (m ³)	Total (m ³)
2016	255,170.00	610,725.00	865,895.00
2017	275,770.00	817,300.00	1,093,070.00
2018	1,080,640.00	1,359,160.00	2,439,800.00
2019	274,250.00	920,375.00	1,194,625.00
2020	450,459.79	1,115,532.57	1,565,992.36
Promedio	467,257.96	964,618.51	1,431,876.47

Nota: elaboración propia

Respecto a la huella hídrica agregada (HH-A) en promedio se demandó 1,431,876.47 (m³/ton) para un año agrícola en modalidad de riego de para una

producción promedio de 7,252.87 (ton), del cual 467,257.96 (m³/ton) proviene del flujo de agua verde (HH-AV) lo que equivale a un 33%, y 964,618.51 (m³/ton) para el flujo azul (HH-AA), el cual equivale a 67% del total de agua usado (ver cuadro 4.12 y figura 4.11). Aunado al consumo de agua también podemos observar la tendencia de crecimiento del uso de este líquido vital en esta fruta agrícola, si bien no se posiciona como el principal cultivo en el municipio ya que el maíz de grano es el que tiene una mayor superficie sembrada y volumen de producción la tendencia de crecimiento del cultivo de fresa es exponencial.

Figura 4.11. La huella hídrica agregada azul y verde del cultivo de Fresa en el municipio de Morelia del 2016 a 2020



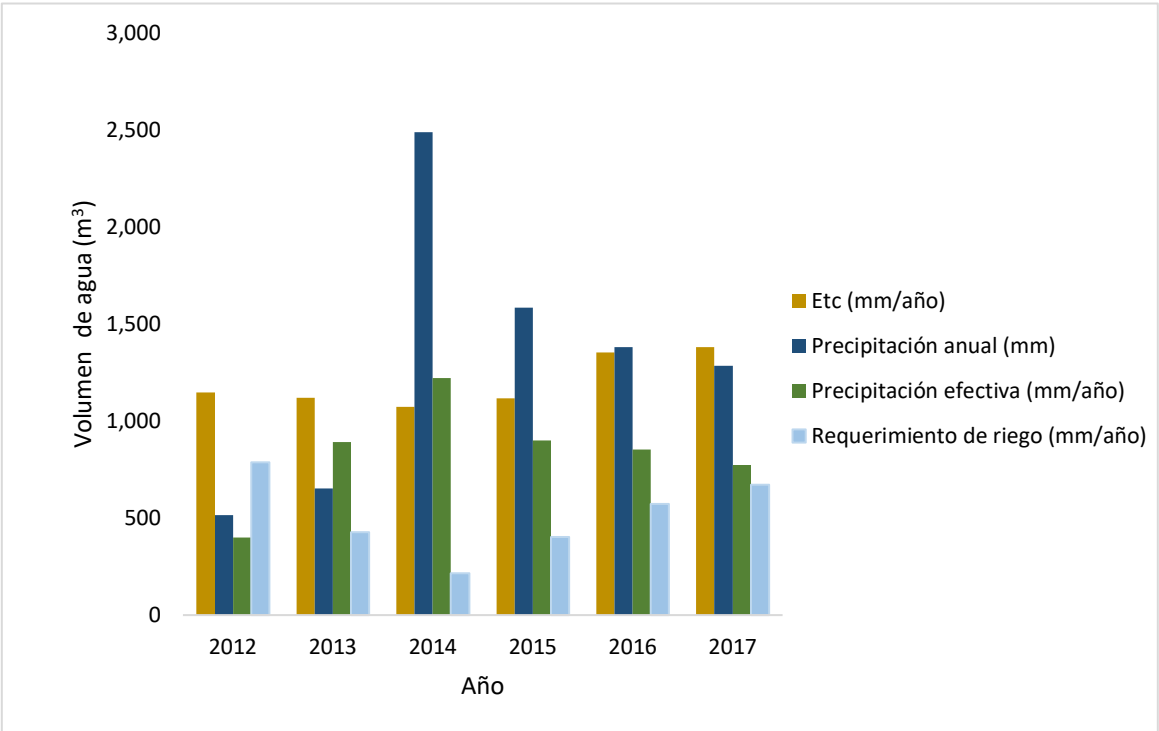
Nota: elaboración propia

4.4 La huella hídrica del aguacate y la fresa en Huiramba

La huella hídrica del municipio de Huiramba fue calculada a partir de la interpolación de los datos climáticos de la estación de Alto-Fresnos, Morelia y Acuitzio, para el periodo de 2012 a 2017. En este periodo se determinó una la lámina de evapotranspiración del cultivo promedio de 1,198.82 (mm/año) esto indica una ETc mucho menor que los municipios anteriores, pero con una precipitación promedio

de acuerdo con las predicciones realizadas de 1,318.03 (mm/año) siendo esta mucho mayor que el municipio de Morelia en consecuencia el presupuesto de agua será diferente (ver figura 4.12).

Figura 4.12. Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), precipitación total, requerimiento de riego y precipitación efectiva para los años 2012 a 2017 en el municipio de Huiramba



Nota: elaboración propia

Respeto a los requerimientos de agua del cultivo de aguacate se estimó una demanda de riego promedio para el periodo de 513.02 (mm/año) y una precipitación efectiva promedio de 839.97 (mm/año) lo que demuestra que aproximadamente un 62% del agua contenida en el cultivo de aguacate proviene del flujo verde y el restante 48% del agua azul (ver cuadro 4.13).

Cuadro 4.13. Evapotranspiración del cultivo de aguacate (ETc), precipitación efectiva y requerimiento de riego para los años 2012 a 2017 en el municipio de Huiramba

Año	ETc (mm/año)	Precipitación efectiva (mm/año)	Requerimiento. riego (mm/año)	Total (mm/año)
2012	1,147.90	400.20	787.20	1,187.40
2013	1,118.70	892.50	426.20	1,318.70
2014	1,073.70	1,222.50	216.40	1,438.90
2015	1,118.00	899.10	403.60	1,302.70
2016	1,354.30	853.20	573.00	1,426.20
2017	1,380.30	772.30	671.70	1,444.00
Promedio	1,198.82	839.97	513.02	1,352.98

Nota: elaboración propia

El volumen de agua que está consumiendo una hectárea de aguacate en promedio en el municipio es de 8,535 (m³/ha) proveniente del flujo verde y 4,812.80 (m³/ha) de agua azul, estas cifras evidencian una mayor apropiación de agua verde. Aunado al consumo se determinó una huella hídrica promedio de 1,439.60 (m³/ton) de la cual 538.01 (m³/ton) corresponde a la huella hídrica azul y 901.67 (m³/ton) a la verde.

Cuadro 4.14. Huella hídrica del cultivo de aguacate en el municipio de Huiramba

Año	HH verde (m ³ /ton)	HH azul (m ³ /ton)	Total (m ³ /ton)
2012	562.87	1,107.17	1,670.04
2013	991.67	473.56	1,465.22
2014	1328.8	235.22	1,564.02
2015	891.96	400.4	1,292.36
2016	834.83	560.67	1,395.50
2017	799.91	451.06	1,250.97
Promedio	901.67	538.01	1,439.69

Nota: elaboración propia

Se obtuvo una huella hídrica agregada promedio de 1,100,565.38 (m³) para una producción promedio de 789.86 (ton) en modalidad de temporal, considerando que este tipo de producción también requiere de agua azul se estimó que en promedio se consumen 393,229.21 (m³) de este flujo y 707,336.18 (m³) de agua verde (ver cuadro 4.15 y figura 4.13).

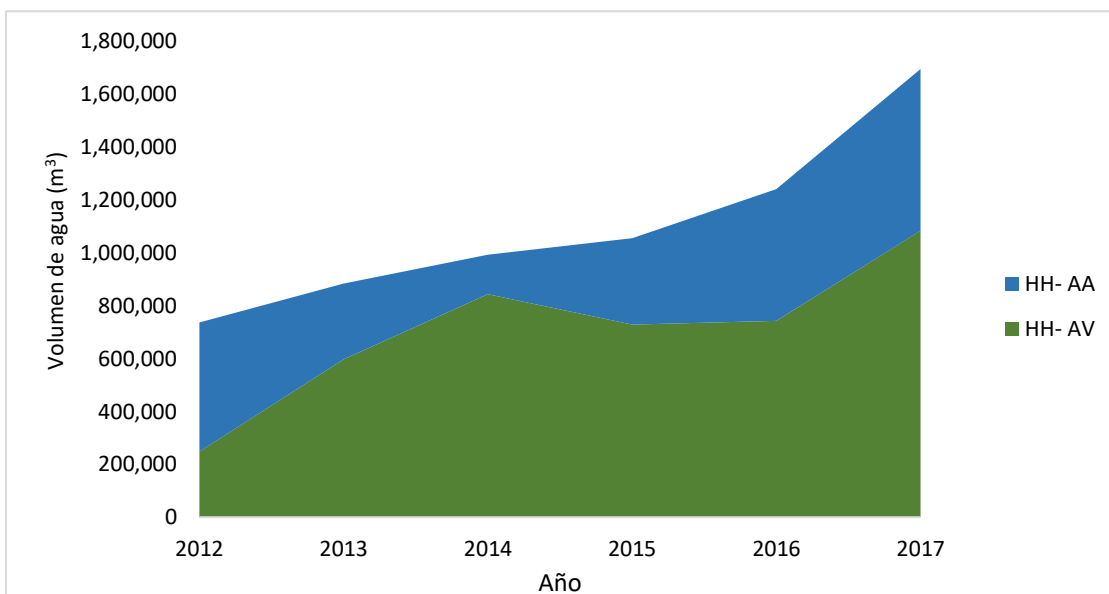
Cuadro 4.15. Huella hídrica agregada de uso directo verde y azul del aguacate en el municipio de Huiramba del periodo de 2012 a 2017

Año	HH- A verde (m ³)	HH-A azul (m ³)	Total (m ³)
2012	248,017.05	487,853.64	735,870.69
2013	597,975.00	285,554.00	883,529.00
2014	843,525.00	149,316.00	992,841.00
2015	728,271.00	326,916.00	1,055,187.00
2016	742,284.00	498,510.00	1,240,794.00
2017	1,083,945.00	611,225.60	1,695,170.60
Promedio	707,336.18	393,229.21	1,100,565.38

Nota: elaboración propia

Las cifras evidencian un mayor consumo de agua verde en la producción, este mayor consumo de agua coincide con lo dicho por pequeños productores de aguacate, y es que refirieron que el consumo de agua azul representa una fuente de apoyo en la época seca que comprende de febrero a mayo siendo el mes de abril el más crítico, y que la procedencia de este recurso es de ollas de agua que tienen en sus huertos o en su caso de la renta de pipas. Además de la procedencia del flujo azul, es relevante evidenciar como ha ido creciendo el volumen de producción del aguacate en Huiramba y es que en 2012 se tuvo una producción de 440.63 toneladas y para 2017 alcanzo las 1,355.09 teniendo más de un 50% de crecimiento, situación que está generando un aumento en el consumo de agua por parte de este sector agrícola.

Figura 4.13. La huella hídrica de uso directo agregada azul y verde del cultivo de aguacate en Huiramba del 2012 a 2017



Nota: elaboración propia

Respecto al cultivo de fresa el análisis realizado sobre la huella hídrica comprende del periodo de 2015 a 2017, cabe mencionar que este tiene sus inicios en el municipio de Huiramba en el año 2015 con una superficie de 30 (ha) y con una producción de 780 (ton), sin embargo, rápido se expande por el municipio a tal grado que en 2017 alcanzó las 144 (ha) con una producción de 3,361 (ton). Se determinó una lámina de evapotranspiración promedio para el periodo estudiado fue de 813.20 (mm/año), con un requerimiento de riego de 381.87 (mm/año) lo que representa un 35% del total del agua consumida y una precipitación efectiva promedio de 694.60 (mm/año) lo que indica que este flujo de agua es el que más contribuye al presupuesto de agua en este cultivo agrícola (ver cuadro 4.16).

Cuadro 4.16. Evapotranspiración del cultivo de fresa (ETc), precipitación total y requerimiento de riego para los años 2015 a 2017 en el municipio de Huiramba

Año	ETc (mm/año)	Precipitación efectiva (mm/año)	Requerimiento riego (mm/año)	Total (mm/año)
2015	731.00	642.60	330.10	972.70
2016	841.30	774.20	358.20	1,132.40
2017	867.30	667.00	457.30	1,124.30
Promedio	813.20	694.60	381.87	1,076.47

Nota: elaboración propia

La relación de la eficiencia del uso del agua respecto al requerimiento hídrico y el rendimiento se obtiene que en promedio la huella hídrica es de 452.74 (m³/ton) de la cual 292.14 (m³/ton) provienen del flujo verde y 160.60 (m³/ton) del azul, si bien en el municipio de Morelia la huella hídrica es casi un 50% menor a la de Huiramba y a la referida por (Mekonnen & Hoekstra, 2011) en este caso la apropiación de este vital líquido es mucho mayor debido a las condiciones climatológicas del territorio, lo que ocasiona un incremento significativo en el volumen requerido de agua por cada kilogramo producido, sin embargo, en proporción la demanda de agua del cultivo de aguacate es casi tres o cuatro veces mucho mayor que este cultivo, esta situación puede ser atribuida a que el sistema de riego que utilizan para abastecer de agua a la planta es el denominado por goteo automatizado, este método representa una forma para ahorrar agua (ver cuadro 4.17).

Cuadro 4.17. Huella hídrica del cultivo de fresa en el municipio de Huiramba

Año	HH verde (m ³ /ton)	HH azul (m ³ /ton)	Total (m ³ /ton)
2015	247.15	126.96	374.12
2016	343.48	158.92	502.40
2017	285.78	195.93	481.71
Promedio	292.14	160.60	452.74

Nota: elaboración propia

Finalmente se estimó la huella hídrica de uso directo agregada, es decir la demanda de agua promedio que se consume en un ciclo agrícola, determinando que en promedio para 2,004 (ton) se consumen 950,267.90 (m³/ton) de agua, del cual 598,639.75 (m³/ton) proviene del flujo verde y 351,628.15 (m³/ton) del azul (ver cuadro 4.18). Tanto para el cultivo de fresa como para el aguacate el agua como un insumo de producción es fundamental y es que el estrés por falta de agua por parte del árbol o la planta puede representar una disminución en los rendimientos y la calidad de la fruta (Levy & Boman, 2020)

Cuadro 4.18. Huella hídrica agregada de uso directo verde y azul de la fresa en el municipio de Huiramba

Año	HH-A verde (m ³)	HH- A azul (m ³)	Total (m ³)
2015	192,780.00	99,030.00	291,810.00
2016	642,647.83	297,334.61	939,982.43
2017	960,491.43	658,519.84	1,619,011.27
Promedio	598,639.75	351,628.15	950,267.90

Nota: elaboración propia

4.5 La huella hídrica del aguacate y la fresa en Lagunillas

Respecto al municipio de Lagunillas las variables climatológicas fueron determinadas bajo el mismo procedimiento de Huiramba, respecto al análisis de la huella hídrica se estudió del periodo de 2012 a 2107, sin embargo, en el caso del cultivo de aguacate en este territorio tiene sus inicios en el año 2017 con una superficie de 18 (ha), este cultivo agrícola se ha expandido lentamente y es que a tres años de sus inicios alcanzo las 37 (ha) sembradas para el año 2020 con una producción de 282.83 (ton) .

Para el año estudiado se determinó una lámina de evapotranspiración de 1,392.80 (mm/año) con precipitación efectiva de 738.50 (mm/año) y un requerimiento de riego de 707.50 (mm/año) esto significa que un 51% del presupuesto de agua proviene de la parte evaporativa productiva y el resto de una fuente superficial o subterránea. De acuerdo con las estadísticas del (SIAP) la modalidad en este municipio es de

temporal, sin embargo, los productores refieren que se ayudan del agua de riego en la época más seca para que su producción no se les vea afectada por la falta de agua. Tomando en cuenta el rendimiento físico que para el periodo referido fue de 10.34 (ton/ha) se determinó un consumo de agua de 1,398.45 (m³/ton) y una huella de uso directo agregada de 86,760 (m³/ton) para una producción de 62.04 (ton).

En este último municipio estudiado antes de iniciar con la producción de aguacate se comenzó a cultivar fresa en el año de 2015 con una superficie de 70 (ha) con una producción de 1,890 (ton), este fruto se expandió rápidamente a tal grado que en el año 2020 alcanzó las 299 (ha) sembradas con un volumen de producción de 11,661 (ton), estas estadísticas evidencian como el cultivo de fresa tuvo un crecimiento 8 veces más que el aguacate, un elemento que se adiciona a este aumento abrupto es la instalación de un centro frigorífico en el año de 2018 en este municipio lo que vino a reforzar el crecimiento de este cultivo en la zona.

Respecto a la huella hídrica de la fresa se determinó una lámina de evapotranspiración promedio de 773.77 (mm/año) para el periodo de 2015 a 2017, un requerimiento promedio de riego de 434.13 (mm/año) y una precipitación efectiva de 527.47 (mm/año) lo que indica que el 55% del agua de uso directo para este cultivo proviene de la huella hídrica verde (ver cuadro 4.19) este mismo cuadro evidencia que en promedio son necesarios 961.60 (mm/año) al convertir este último dato en volumen indica que para una hectárea de fresa cultivada es necesario en promedio 9,616 (m³).

Cuadro 4.19. Evapotranspiración del cultivo de fresa (ETc), precipitación total y requerimiento de riego para los años 2015 a 2017 en el municipio de Lagunillas

Año	ETc (mm/año)	Precipitación. efectiva (mm/año)	Requerimiento riego (mm/año)	Total (mm/año)
2015	715.60	656.20	313.70	969.90
2016	733.80	292.60	515.00	807.60
2017	871.90	633.60	473.70	1,107.30
Promedio	773.77	527.47	434.13	961.60

Nota: elaboración propia

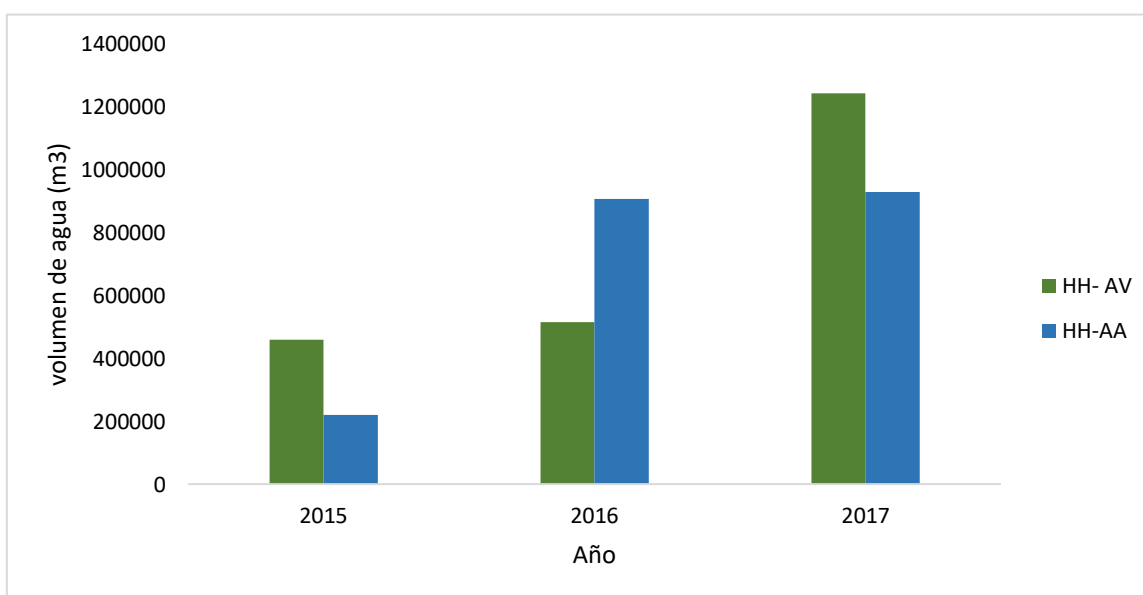
En cuanto a la huella hídrica por cada kilogramo producido en el municipio de Lagunillas en promedio se necesitan 401.01 (m³/ton) de los cuales 214.28 (m³/ton) provienen del flujo verde y 186.72 (m³/ton) del azul (ver cuadro 4.20 y figura 4.14). Adicionalmente tomando en cuenta que en promedio se producen 3,442.10 (ton) anualmente es necesario 1,423,704.12 (m³) de agua.

Cuadro 4.20 Huella hídrica del cultivo de fresa del periodo de 2015 a 2016 en el municipio de Lagunillas

Año	HH verde (m ³ /ton)	HH azul (m ³ /ton)	Total (m ³ /ton)
2015	243.04	116.19	359.22
2016	143.29	252.20	395.49
2017	256.52	191.78	448.30
Promedio	214.28	186.72	401.01

Nota: elaboración propia

Figura 4.14. La huella hídrica de uso directo agregada azul y verde del cultivo de fresa en Lagunillas del 2015 a 2017



Nota: elaboración propia

Finalmente, el análisis más allá de las cifras que evidencia el excesivo volumen de agua que requiere tanto el cultivo de aguacate como el de fresa para cumplir con sus funciones metabólicas; el estudio encamina su reflexión hacia la crítica de este tipo de agricultura intensiva en el uso de recursos naturales y es que su producción es auspiciada desde los aparatos gubernamentales y la sociedad privada debido a su gran valor en los mercados internacional, lo que engendra una situación muy particular el acaparamiento y poder por el acceso al recurso hídrico; lo que está generando conflictos sociales y ambientales.

Esta situación en la actualidad no solo es vivida en los municipios estudiados en la Subcuenca de Cointzio, en el contexto internacional la expansión de la plantación de aguacate en Chile ha sido incentivada desde organismos gubernamentales al ser un fruto tropical que genera grandes ganancias económica, y a su vez el acceso al agua ha sido un tema político a tal grado que los vínculos y el dinero es la conexión perfecta para acceder a un mayor volumen de agua que en ocasiones llega a la ilegalidad como está pasando en los municipios de Acuitzio, Huiramba, Lagunillas y Morelia y si a eso le sumamos la gratuidad que genera sobreexplotación y consecuencias socioecológicas (Budds, 2004). En consecuencia, se tiene que repensar esta idea de que el crecimiento agrícola basado en un monocultivo de exportación denota esta expansión económica, y es que más que esto genera una serie de desigualdades y costos sociales y ambientales que este cultivo agrícola no internaliza.

Capítulo V

Análisis y discusión de la sostenibilidad del uso del agua en la agricultura

El estudio ya ha referido lo fundamental que es el agua para la humanidad y todos los seres vivos del planeta tierra y a su vez lo limitado e insustituible que es este recurso. En la actualidad la demanda del vital líquido ha aumentado de manera vertiginosa principalmente por el sector agrícola, situación que está generando una crisis hídrica que en la actualidad ha alcanzado un nivel crítico que pone en riesgo el acceso al recurso hídrico. En efecto, dicha situación pone de manifiesto la urgencia de evaluar la sostenibilidad del uso del agua, con la finalidad de poder generar planes de gestión que busquen el consumo eficiente del agua a diferentes niveles y contextos geográficos.

Asimismo, el estudio de la sostenibilidad del uso del agua en la agricultura es una línea importante de investigación a nivel global, la mayoría de las investigaciones se realiza en países desarrollados como China y Estados Unidos. Sin embargo, en América Latina la producción científica que aborden la huella hídrica agrícola es mucho menor (Velasco et al., 2018). Con base en lo referido, es que la contribución de este trabajo resulta ser un análisis del consumo de agua en una región del hemisferio norte de América Latina, México, el cual presenta una serie de peculiaridades geográficas y un gran potencial para exportaciones agrícolas de alto valor y calidad. En consecuencia, el análisis busca ser un parteaguas a nivel regional para la explotación de la vulnerabilidad hídrica y a su vez una puerta para repensar la forma de producción agrícola de los cultivos de aguacate y fresa.

5.1 Comparando la magnitud del uso de agua directo

El consumo de agua a nivel global en las últimas décadas ha aumentado indiscriminadamente y en mayor medida el uso consuntivo del sector agrícola, cuantificar el agua verde y azul de la producción agrícola representa un marco para analizar el vínculo entre el consumo humano y la apropiación de agua dulce durante un periodo de tiempo en particular, estudiosos del tema han dedicado sus investigaciones a realizar estimaciones a nivel global y regional del consumo de agua verde y azul de diferentes cultivos, en este contexto encontramos el estudio de (Mekonnen & Hoekstra, 2011) los cuales estimaron el uso de agua de 126 cultivos primarios en diversas regiones a partir del programa CROPWAT 8.0. Aunado a este estudio, encontramos el de (Gómez et al., 2015) y el de (Quiroz, 2019) referentes más local del consumo de agua por parte del cultivo agrícola del aguacate, los estudios determinaron el consumo hídrico del aguacate por medio de la cuantificación del flujo de savia directamente en los árboles. Sin duda, los estudios anteriores evidencian dos métodos diferentes de saber cuánta agua consumen los cultivos agrícolas. Sin embargo, ambos son referentes para comparar en términos de magnitud la huella hídrica promedio del cultivo de aguacate y de fresa de los municipios de la Subcuenca de Cointzio y poder dimensionar la cantidad de agua que consumen estos cultivos agrícolas.

El primer estudio evidencia que el cultivo de aguacate en promedio consume 1,698 (m³/ton) esta cifra global es mucho mayor que la del municipio de Acuitzio, pero menor que los tres municipios restantes, si bien se debe considerar que para cada región o país la estimación puede resultar bastante diferente debido a las condiciones climatológicas; comparando esta huella hídrica con la de cultivos primarios como el maíz o la avena que son de los principales en el municipio estas son mucho más pequeñas tan solo el maíz consume 1,222 litros por cada kilogramo y la avena oscila entre los 1,500 litros considerando que son cultivos que en volumen de producción son los que ocupan el segundo y tercer lugar en producción en los municipios de la Subcuenca estudiados, aunque se ven cifras muy cercanas

al aguacate el mayor porcentaje de producción de estos es de temporal y el otro fruto agrícola es mayormente de riego.

Aunado a los autores anteriores (Hoekstra et.al.,2011) en sus análisis ya han referido que el aguacate es particularmente intensivo en agua, ya que requiere aproximadamente 4 y 10 veces más agua que otros cultivos, como el tomate que tiene una huella hídrica azul y verde de 151 (m^3/ton) o la naranja con una huella de 450 (m^3/ton). En este mismo sentido, (Gómez, 2015) en su estudio sobre el impacto hidrológico del oro verde (cultivo de aguacate) en el centro de México estimó un consumo de agua del aguacate 4.7 a 5.7 veces más agua que un pino (árboles endémicos de la región de Michoacán).

Finalmente, el análisis de Quiroz (2019) observo tres diferentes territorios: huerta de Zirahuén, huerta de Parque Nacional y huerta madura, estos lugares se encuentran en el estado de Michoacán, pero no pertenecen a la Subcuenca de Cointzio por lo que sus condiciones climatológicas son diferentes a la de los municipios estudiados, sin embargo, si es un referente para poder determinar en términos de magnitud que tan amplio es el consumo.

En este sentido, el estudio antes citado demostró que la huerta de Zirahuén tiene un consumo neto de 5,607.9 ($m^3/ha/año$), la del Parque Nacional de 3,317 ($m^3/ha/año$) y una huerta madura de 10,573.5 ($m^3/ha/año$), en el caso de los municipios estudiados en Acuitzio se determinó un consumo promedio neto que involucro tanto el flujo verde como el azul para el periodo de 2012 a 2017 de 15,785.33 ($m^3/ha/año$), para Morelia fue 15,439.4 ($m^3/ha/año$), en Huiramba de 13,347.80 ($m^3/ha/año$), y finalmente Lagunillas con un consumo de agua para el año de 2017 de 14,460.00 ($m^3/ha/año$) ver cuadro 5.1. Si bien los métodos para estimar esta cantidad de agua son diferentes en el primer caso se cuantifico el flujo de savia directamente en árboles y en el segundo se calculó mediante la evapotranspiración del cultivo a partir de datos climatológicos, las estimaciones evidencian una ligera aproximación con la huerta madura, en proporción representan un 28% menos en promedio de consumo de agua, sin embargo es relevante considerar que no pueden ser iguales porque el consumo de agua cambia dependiendo de la región.

Aunado al estudio de Quiroz se suma el de Carr (2013) denominado “The water relations and irrigation requirements of avocado (persea americana Mill): a review” dedicado a la investigación de las relaciones hídricas y las necesidades de riego del aguacate estudiado en climas semiáridos como California e Israel, Subtropicales como Australia y México y Tropicales como Florida, este estudio determinó que en California los productores de aguacate aplican anualmente entre 4,500 y 15,000 (m³/ha) de agua de riego, es relevante aclarar que este consumo se dan cuanto las precipitaciones totales se encuentran entre 250 y 500 (mm), mientras que para Israel que tiene un clima Semiárido la recomendación para arboles maduros es 7,000 (m³/ha).

Cuadro 5.1. Consumo neto de agua del cultivo de aguacate en los municipios de estudio de la Subcuenca de Cointzio

Apropiación neta de agua del cultivo de aguacate por municipio (m³/ha/año)				
Año	Acuitzio	Morelia	Huiramba	Lagunillas
2012	15,161.00	-----	11,874.00	-----
2013	15,812.00	-----	13,187.00	-----
2014	15,089.00	-----	14,389.00	-----
2015	14,728.00	-----	13,027.00	-----
2016	17,328.00	15,347.00	14,262.00	-----
2017	16,594.00	15,262.00	13,347.80	14,460.00
2018	-----	16,397.00	-----	-----
2019	-----	14,799.00	-----	-----
2020	-----	15,392.00	-----	-----
Promedio	15,785.33	15,439.4	13,347.80	14,460.00

Nota: elaboración propia

Los elementos que influyen en el consumo de agua están determinadas por las características fisiológicas de la especie, Carr (2013) manifiesta que la etapa que más requiere agua en cantidad suficiente es la floración y es que un árbol grande de esta fruta tropical produce alrededor de dos millones de flores, sin embargo de

estas solo un 1% producen frutos y el resto se pierde, entonces si un árbol no tiene la suficiente agua aumenta la posibilidad que la cantidad de frutos que genere el árbol sea menor y que su tamaño disminuya, situación que se agrega al porque el aguacate consume mucha agua.

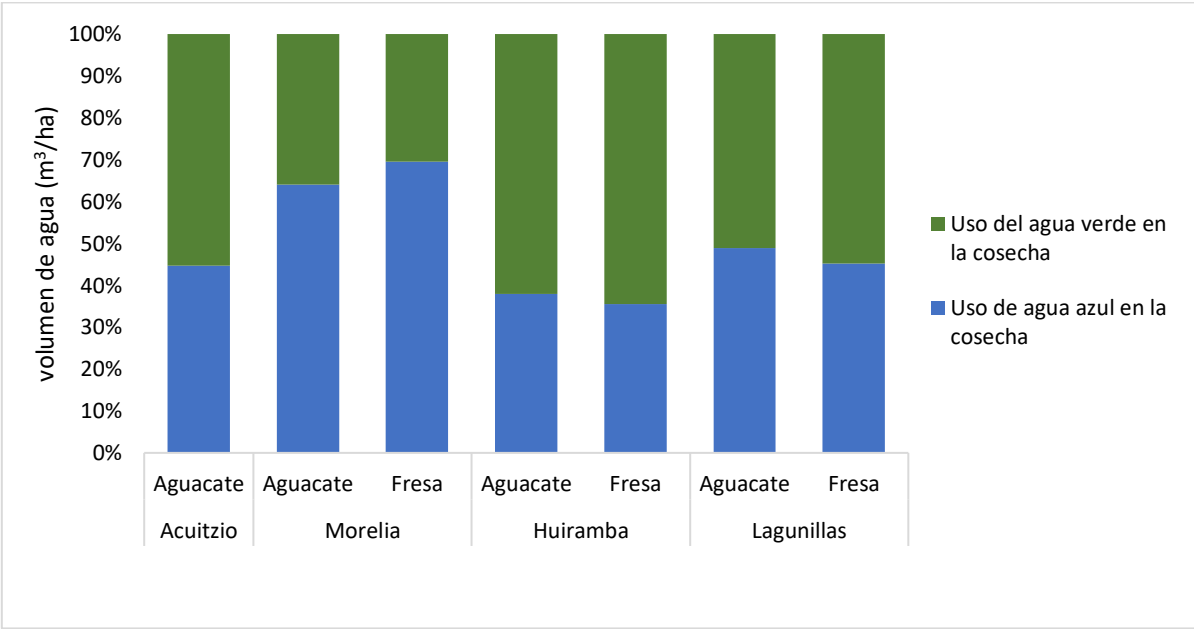
Sin embargo, el escenario anterior no es el único y es que el aguacate mexicano ha evolucionado en climas húmedos y templados donde se presentan altas precipitaciones en el periodo de verano-otoño por lo tanto no cuentan con un periodo de tiempo largo de déficit de humedad del suelo, los árboles de aguacate desarrollaron un sistema fisiológico de uso de agua casi constante a lo largo del año Quiroz (2019).

Aunado al resultado que evidencia el excesivo volumen de agua que lleva un kilogramo de aguacate, la situación se agudiza al indicar que más del 70% del aguacate que se incorpora a este fruto agrícola es exportado principalmente a Estados Unidos, representando un serio problema ambiental, (Caro et al., 2021) menciona que el comercio de aguacate en lugar de enriquecer a los países exportadores termina empeorando su entorno social, y ecológico, debido al aumento del estrés hídrico, lo que a su vez ocasiona un severo daño a las condiciones sociales ante la falta de agua.

Respecto al consumo de agua en el cultivo de fresa, el referente es el estudio de Peniche & Ávila (2012) sobre los impactos que genera la apropiación de las reservas de agua en el valle agrícola de Zamora a raíz del mercado mundial de fresa, si bien el estudio no evidencia el consumo de agua si demuestra que en el territorio estudiado en promedio el agua contenida en la fresa es de 476.6 (m³/ton) más elevado que la media mundial, aunado a ello la investigación enfatiza que los requerimientos metabólicos de agua en el cultivo de fresa son altos comparado con cultivos agrícolas tradicionales como el maíz y es que la fresa requiere cerca de 40 riegos al tiempo que el maíz solo 4. En el caso de los municipios estudiados en la Subcuenca de Cointzio el consumo de agua promedio de agua para Morelia fue de 10,219.2 (m³/ha/año), para Huiramba de 10,764.7 (m³/ha/año) y para Lagunillas de 9, 616 (m³/ha/año), en la figura 5.1 se puede observar el porcentaje del consumo

de agua tanto para la fresa como para el aguacate, pero de manera desagregada de tal manera que se puede identificar en términos de magnitud que flujo de agua aporta una mayor cantidad de agua estos cultivos agrícolas intensivos.

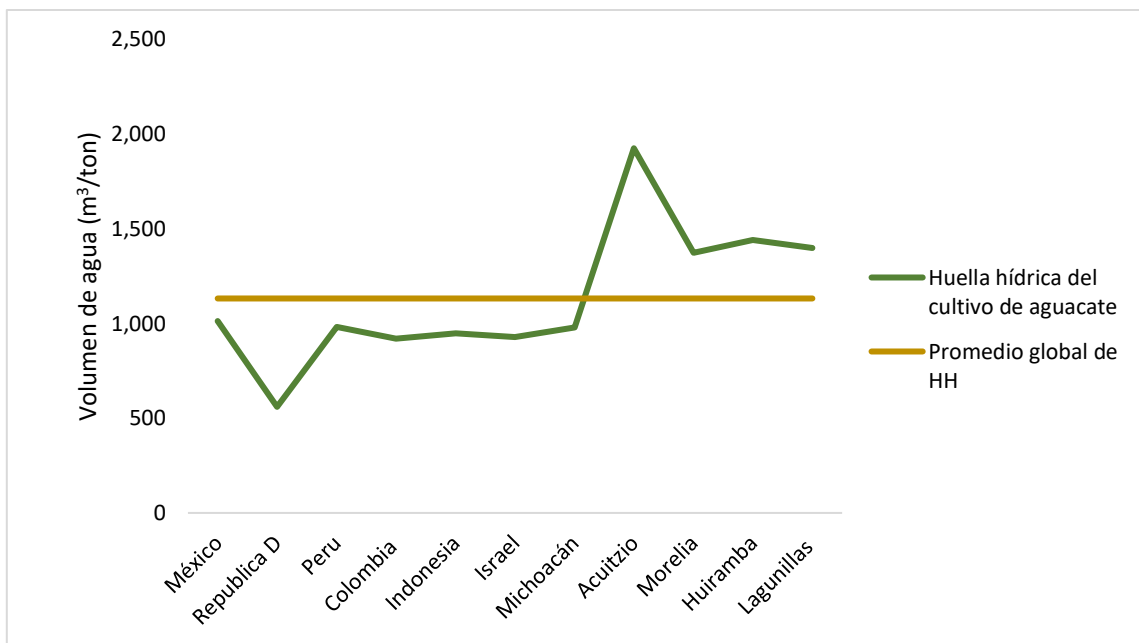
Figura. 5.1. Porcentaje de apropiación de agua verde y azul por parte de los cultivos de aguacate y fresa en los municipios estudiados



Nota: elaboración propia

Para comparar las cifras del consumo de agua con datos más globales se acude al reporte de Mekonnen y Hoekstra (2011) “*Water footprints of crops and derived crop products (1996-2005)*” en donde evidenciaron que el promedio global neto de la huella hídrica del cultivo de aguacate es de 1,132 (m³/ton) de los cuales 849 (m³/ton) corresponden al flujo verde y 283 (m³/ton) que representan la huella hídrica azul tomando de referencia la figura 5.2 en la cual se cruzan el promedio global de la huella hídrica del aguacate contra cuantificación del consumo de agua por parte de los principales países productores y los de la zona de estudio se aprecia que es mucho mayor en los municipios de la Subcuenca de Cointzio estudiados en magnitud estamos hablando que la huella hídrica neta en promedio es un 26% mayor al promedio global.

Figura 5.2. Comparación del porcentaje del promedio global de HH del cultivo de aguacate contra los principales países productores y los municipios estudiados



Nota: elaboración propia

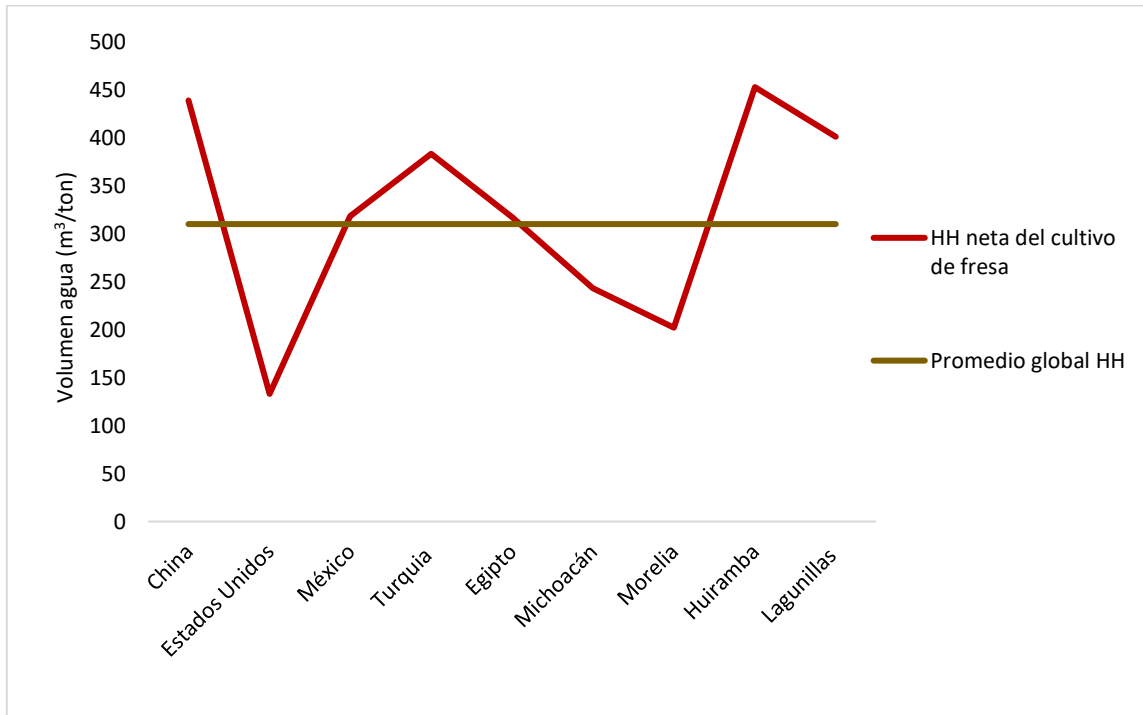
Adicionalmente a que la figura 5.2 evidencio una mayor huella hídrica en los municipios estudiados respecto al promedio global, también demuestra como los principales países productores de aguacate: México, República Dominicana, Colombia, Indonesia, producen aguacate con una menor cantidad de agua en el caso de México 1,012 (m³/ton), para Republica Dominicana su consumo alcanza los 560 (m³/ton), en el caso de Perú se refiere el uso de 983 (m³/ton), para Colombia el consumo fue de 919 (m³/ton), Indonesia 949 (m³/ton), finalmente se refiere el consumo de Israel porque aunque en este país tienen un clima semiárido están produciendo aguacate con una cantidad promedio de 929 (m³/ton), en el caso de los municipios de la Subcuenca de Cointzio la huella hídrica neta para los periodos estudiados ya referidos fue: Acuitzio 1,924.93 (m³/ton), Morelia 1,373.99 (m³/ton), Huiramba 1,439.68 (m³/ton) y Lagunillas 1,398.35 (m³/ton), en el caso de Morelia la mayor apropiación proviene del flujo azul es decir de una fuente superficial o subterránea y en el caso de Acuitzio, Morelia y Lagunillas la mayor fuente de apropiación de agua es el flujo verde como lo vemos en la figura 5.1.

El desmedido volumen de agua en los municipios estudiados refleja la presión que se ejerce sobre el elemento agua para poder cubrir la demanda para este cultivo de exportación. Respecto a la huella verde la situación se torna diferente y es que el consumo por parte de este flujo de agua es mucho menor al promedio global y al que usan los principales países productores de aguacate.

Para el cultivo de fresa la apropiación de agua en términos de cantidad es diferente al fruto de aguacate y es que los volúmenes de uso directo neto del promedio global que refiere (Mekonnen & Hoekstra, 2011) es de 310 (m³/ton) de los cuales 201 (m³/ton) provienen de la huella hídrica verde y 109 (m³/ton) de la huella hídrica azul esto significa que el consumo de agua neto de la fresa apenas representa un 27% de lo que consume el aguacate.

Respecto a la huella hídrica neta de los principales países productores de fresa, China es el que más agua consume con un promedio de 439 (m³/ton), seguido de Turquía con 383 (m³/ton), mientras que México se posiciona en el tercer lugar con 318 (m³/ton) y finalmente Estados Unidos es el que menor agua consume con un volumen de 133 (m³/ton) a diferencia de los municipios estudiados Morelia es el que tiene un consumo menor con un gasto de 213.94 (m³/ton), lo que significa un 65% del consumo promedio global, para el caso de Huiramba y Lagunillas su consumo es casi el doble al de Morelia, en el caso de Huiramba la huella hídrica neta es de 452.74 (m³/ton) y para Lagunillas es de 401.01 (m³/ton), estas cifras indican que en estos últimos dos municipios el consumo de agua es aproximadamente un 60% mayor que el promedio global referido observar figura 5.3.

Figura 5.3. Comparación del porcentaje del promedio global de HH del cultivo de fresa contra los principales países productores y los municipios estudiados



Nota: elaboración propia

5.2 Productividad económica hídrica de la fresa y el aguacate

La productividad económica hídrica es un indicador que manifiesta la capacidad de generación de ingresos en términos de costo de venta en relación con el consumo de agua de acuerdo con Salmoral et al. (2011). Se considera que es un factor dinámico que evoluciona en el tiempo. Sin embargo, es necesario considerar que este indicador no representa una buena referencia para determinar la capacidad de pago ya que el agua de riego no es el único factor de producción puesto que su cálculo no toma en cuenta los costes fijos y variables asociados a la utilización de los diferentes factores productivos.

En consecuencia, este cálculo no refleja las ganancias en términos monetarios de los cultivos agrícolas estudiados, pero si auxilia a dimensionar en términos económicos lo que genera una cierta cantidad de metros cúbicos de agua en el costo de venta. Este indicador se calculó a raíz del valor de producción o precio de

mercado del cultivo agrícola y los m³ de agua consumida. De acuerdo con el análisis, se estimó que la productividad económica hídrica azul promedio para el cultivo de aguacate en el periodo de 2012 a 2017 para el municipio Acuitzio fue de 16.97 (\$/m³), para el municipio de Morelia el promedio para el periodo de 2016 a 2020 fue 21.39 (\$/m³), para Huiramba el promedio para el periodo de 2012 a 2017 fue de 35.22 (\$/m³) y finalmente para Lagunillas en el año estudiado la productividad azul fue de 30.47 (\$/m³) ver cuadro 5.2, respecto a esta serie de datos el municipio de Huiramba es el que mayor aportación económica representa en términos del costo de venta por cada metro cubico apropiado para ese sector agrícola.

Cuadro 5.2. La productividad económica hídrica azul del cultivo de aguacate en los municipios estudiados de la Subcuenca de Cointzio

Año	Productividad hídrica azul del cultivo de aguacate (\$/m ³)			
	Acuitzio	Morelia	Huiramba	Lagunillas
2012	7.01	-----	12.34	-----
2013	11.98	-----	29.14	-----
2014	20.73	-----	58.33	-----
2015	14.12	-----	35.70	-----
2016	21.27	18.89	30.13	-----
2017	26.69	20.70	45.67	30.47
2018	-----	27.31	-----	-----
2019	-----	19.40	-----	-----
2020	-----	20.63	-----	-----
Promedio	16.97	21.39	35.22	30.47

Nota: elaboración propia

Respecto a la productividad económica hídrica del flujo verde se determinó un promedio para el periodo estudio en Acuitzio de 13.65 (\$/m³), para Morelia de 38.99 (\$/m³), para Huiramba de 18.42 (\$/m³) y finalmente para lagunillas de 29.19 (\$/m³) ver cuadro 5.3. Es relevante mencionar que este flujo no tiene ningún costo en el sistema económico de producción agrícola ya que es un servicio ecosistémico que brinda la naturaleza y que como tal no engendra ningún costo en la cadena productiva del aguacate, sin embargo, el análisis evidencia que si genera una

productividad económica en cuanto al costo de venta. Comparando la productividad económica hídrica verde y azul en el aguacate la que mayor contribuye es el flujo de agua azul proveniente de alguna fuente superficial o subterránea de agua que enlista una serie de conflictos ambientales y es que el negocio agrícola de los cultivos intensivos como el aguacate convertido en un monocultivo encabeza la lista de cultivos de exportación que contiene grandes volúmenes de agua que llegan a la sobreexplotación y que auxilian en la generación de ingresos en el costo de venta de este producto agrícola.

Cuadro 5.3. La productividad económica hídrica verde del cultivo de aguacate en los municipios estudiados de la Subcuenca de Cointzio.

Año	Productividad hídrica verde del cultivo de aguacate (\$/m ³)			
	Acuitzio	Morelia	Huiramba	Lagunillas
2012	6.83	-----	24.27	-----
2013	9.22	-----	13.92	-----
2014	18.39	-----	10.33	-----
2015	12.15	-----	16.03	-----
2016	15.12	41.12	20.23	-----
2017	20.19	48.39	25.75	29.19
2018	-----	30.55	-----	-----
2019	-----	41.59	-----	-----
2020	-----	33.29	-----	-----
Promedio	13.65	38.99	18.42	29.19

Nota: elaboración propia

Para el cultivo de fresa la productividad económica hídrica azul en promedio para el periodo de 2016 a 2020 en Morelia fue de 129.76 (\$/m³), mientras que para el municipio de Huiramba para el periodo de 2015 a 2017 fue de 96.79 (\$/m³) y finalmente para Lagunillas fue de 86.13 (\$/m³) ver cuadro 5.4. Las estimaciones anteriores reflejan una mayor productividad económica de la fresa, sin embargo, no se debe dejar de lado que esto no indica la ganancia económica ya que no se están tomando en cuenta todos los costos de producción. Respecto a las ganancias económicas que genera tanto el aguacate como la fresa podemos regresar a la

figura 3.9 del capítulo tres sobre el análisis socioeconómico y ambiental de la zona de estudio donde al comparar el valor de producción de un cultivo tradicional como es el maíz o la avena y uno intensivo como el aguacate o la fresa se demuestra porque uno es más atractivo para el mercado por su alto valor comercial, es decir por las ganancias económicas y que finalmente el cultivo de aguacate es el que más ganancias económicas genera.

Cuadro 5.4. La productividad económica hídrica azul del cultivo de fresa en los municipios estudiados de la Subcuenca de Cointzio.

Año	Productividad hídrica azul del cultivo de fresa (\$/m ³)		
	Morelia	Huiramba	Lagunillas
2015	-----	81.73	93.42
2016	119.00	104.22	57.61
2017	76.78	104.42	107.34
2018	238.83	-----	-----
2019	108.94	-----	-----
2020	105.26	-----	-----
Promedio	129.76	96.79	86.13

Nota: elaboración propia

Finalmente, la productividad económica hídrica verde promedio para el cultivo de fresa en el municipio de Morelia en el periodo de 2012-2017 fue de 287.81 (\$/m³), para Huiramba fue de 53.93 (\$/m³) y para Lagunillas de 75.44 (\$/m³) ver cuadro 5.5. Comparando la productividad hídrica de la fresa azul y verde se infiere que el flujo verde es el que produce el mayor valor económico al costo de venta del volumen cosechado en el periodo estudiado. Con esto podemos dimensionar como el agua evaporativa productiva produce un recurso de valor fundamental para la agricultura, sin embargo, este flujo de agua es ignorado y poco se estudia, el valor de esta agua gastada en los procesos productivos no es primordial ya que no genera ningún costo como insumo de producción. Al ser ignorado este bien ecosistémico no se pone en tela de discusión los impactos ambientales y sociales por su uso y es que al comercializar cultivos como la fresa a los mercados internacionales se está

exportando una despilfarradora cantidad de agua verde que no engendro ningún valor de cambio (Roberts, 1991).

Cuadro 5.5. La productividad económica hídrica verde del cultivo de fresa en los municipios estudiados de la Subcuenca de Cointzio

Año	Productividad hídrica verde del cultivo de fresa (\$/m3)		
	Morelia	Huiramba	Lagunillas
2015	-----	41.99	44.66
2016	284.81	48.22	101.40
2017	227.56	71.59	80.25
2018	300.38	-----	-----
2019	365.62	-----	-----
2020	260.67	-----	-----
Promedio	287.81	53.93	75.44

Nota: elaboración propia

5.3 La vulnerabilidad hídrica por la apropiación de agua azul para los cultivos de aguacate y la fresa

A lo largo de la presente investigación se ha referido la importancia del agua y es que no es un recurso más, sino es la columna vertebral del desarrollo económico, social y ambiental de todo territorio. Por lo tanto, es vital que la gestión del agua permita una distribución eficiente, equitativa y sostenida en el tiempo. Sin embargo, el consumo de agua por actividades antrópicas ha alterado el ciclo global de este líquido vital, en este sentido, la agricultura es el sector económico que más recursos hídricos consume en todo el mundo para cultivar alimentos. Se estima que más de un 70% de las extracciones son directas y un 90% corresponden al consumo indirecto, es decir, el agua evapotranspirada que no se devuelve al sistema y que sin duda, afecta los niveles de infiltración, y se proyecta que estos porcentajes para las próximas dos o tres décadas siguientes aumente (Novoa et al., 2019).

Según Hoekstra (2012) La cantidad exacerbada del consumo de agua de las actividades agrícolas ha contribuido a problemas de escasez hídrica alrededor del mundo. Hoy en día, en muchos territorios el agua subterránea está siendo bombeada a tasas de extracción que exceden el reabastecimiento agotando gradualmente los acuíferos y los caudales de ríos. Esta problemática ha traído consigo una preocupación de diversos actores sociales y es que la disponibilidad en cantidad y calidad representa el sostenimiento de la vida misma, por lo que en los últimos años se han venido desarrollando métricas que ayudan a mapear y rastrear la escasez a diferentes escalas con el objetivo de evaluar la posible insostenibilidad hídrica y con ello poder plantear un sistema de gobernanza del agua que garantice la satisfacción de la demanda en el presente y el suministro futuro tanto para la economía, como para la sociedad y los ecosistemas.

Bajo este escenario es que Hoekstra et al (2012) genera un método para estimar la escasez de agua azul tomando en cuenta la relación entre la huella hídrica azul y la disponibilidad de agua azul en una cuenca hidrográfica en un periodo de tiempo específico, de hecho el autor manifiesta que esta forma de medir la escasez representa una nueva combinación ya que se mide el uso del agua en términos de uso consuntivo de los flujos de agua superficial y subterránea, es decir, las extracciones de esta y la necesidad ambiental de agua o el caudal para la salud ecológica.

Sin embargo, para el desarrollo del presente estudio el contexto que refiere el autor se modifica y para estudiar la escasez de los territorios estudiados en lugar de contabilizar la disponibilidad de agua necesaria para sostener las funciones ecológicas, se cuantifica los volúmenes de agua concesionados que son extraídos por el sector agrícola, esto finalmente permitió evidenciar el sobregiro o en su caso el grado o porcentaje de apropiación de agua no concesionada causado por los cultivos agrícolas del aguacate y la fresa en la zona estudiada. Esta situación representa una nueva forma de mostrar la vulnerabilidad hídrica a la que se somete un sistema por el acaparamiento de agua para un sector en particular. En este contexto, la relación de la contabilidad de la huella hídrica del aguacate y la fresa y

el cruce con los volúmenes de agua concesionados para uso agrícola evidenció que en los cuatro municipios estudiados existe un severo estrés hídrico causado por el sobregiro de agua, esto significa que se está consumiendo un volumen considerable de agua que no se encuentra concesionado por el Registro Público de Derecho del Agua (REPDA) lo que demuestra un secuestro de este vital líquido por parte de los cultivos intensivos estudiados.

Demostrando la situación de cada municipio estudiado en el caso de Acuitzio los requisitos de riego promedio para un ciclo agrícola en modalidad de riego para el cultivo de aguacate oscilan en 6.46 (hm³) mientras que el volumen concesionado promedio por año de acuerdo con las estadísticas del REPDA es de 3.35 (hm³), esto significa que en este municipio el cultivo de aguacate está aprovechando en promedio 3.01 (hm³) de agua o en su caso consume un 52% más del volumen no concesionado, cifra que supera más del 40% del volumen concesionada de agua superficial y subterránea lo que indica indicando un estrés hídrico severo (ver cuadro 5.6)

Cuadro 5.6. Evaluación del grado de apropiación de agua azul no concesionada por el cultivo de aguacate en el municipio de Acuitzio del periodo de 2012 a 2017

Año	Apropiación de agua azul (hm ³)	Volumen concesionado para uso agrícola (hm ³)	Apropiación no concesionada (hm ³)	Estrés hídrico (hm ³)
2012	3.85	3.15	0.71	Significativo
2013	5.37	3.24	2.13	Severo
2014	6.91	3.38	3.53	Severo
2015	6.63	3.38	3.25	Severo
2016	7.14	3.40	3.74	Severo
2017	8.20	3.53	4.66	Severo
Promedio	6.35	3.35	3.01	Severo

Nota: elaboración propia

Respecto al municipio de Morelia el requerimiento promedio de riego para un ciclo agrícola de aguacate en modalidad de riego es de 7.11 (hm³), mientras que la producción de fresa demanda un consumo de agua anual para la modalidad de riego

de 0.96 (hm³/año), esto indica que en total se apropian de 8.07 (hm³) de agua estos cultivos agrícolas, el volumen concesionado para uso agrícola es de 11.42 (hm³), estas cifras evidencian que aproximadamente se apropian tanto el aguacate como la fresa de un 70% del total del volumen concesionado lo que indica un estrés hídrico severo porque el volumen de agua demandado es mayor al 40% del concesionado por la institución pertinente que es la CONAGUA (ver cuadro 5.7).

Cuadro 5.7. Evaluación del grado de apropiación de agua azul no concesionada en el municipio de Morelia del periodo de 2016 a 2020

Año	Apropiación de agua azul aguacate (hm ³)	Apropiación de agua azul fresa (hm ³)	Volumen concesionado para uso agrícola (hm ³)	Porcentaje de apropiación de agua azul	Estrés hídrico
2016	5.47	0.61	9.94	61	Severo
2017	7.72	0.82	10.25	83	Severo
2018	6.58	1.36	12.23	65	Severo
2019	7.87	0.92	12.27	72	Severo
2020	7.89	1.12	12.39	73	Severo
Promedio	7.11	0.96	11.42	70	Severo

Nota: elaboración propia

En el municipio de Huiramba la producción de aguacate es mucho menor que los municipios anteriores, y la obtención de fresa por el territorio se encuentran en expansión. Tal que el cultivo de aguacate se aprovecha en promedio de 0.39 (hm³) para la modalidad de riego y para la producción de fresa se consumen 0.35 (hm³) de agua para un ciclo agrícola, sin embargo, el volumen concesionado promedio para uso agrícola por el REPDA es de 0.32 (hm³), situación que indica que en promedio se apropian estos cultivos agrícolas de 0.25 (hm³) de agua, es decir que un 57% de este recurso natural es apropiado de manera ilegal ya que no cuenta con ningún registro para su explotación y solo un 43% se aprovecha de manera legal (ver cuadro 5.8).

Cuadro 5. 8. Evaluación del grado de apropiación de agua azul no concesionada en el municipio de Huiramba del periodo de 2012 a 2017

Año	Apropiación de agua azul aguacate (hm ³)	Apropiación de agua azul fresa (hm ³)	Volumen concesionado para uso agrícola (hm ³)	Apropiación no concesionada (hm ³)	Estrés hídrico
2012	0.49	-----	0.24	0.25	Severo
2013	0.29	-----	0.25	0.03	Bajo
2014	0.15	-----	0.25	0.11	Bajo
2015	0.33	0.10	0.25	0.17	Severo
2016	0.50	0.30	0.46	0.34	Severo
2017	0.61	0.66	0.47	0.80	Severo
Promedio	0.39	0.35	0.32	0.25	Severo

Nota: elaboración propia

Finalmente, para el municipio de Lagunillas la producción de aguacate inicia hasta el año de 2017 y para la fresa en 2015, en este sentido el cuadro 5.9 evidencia como en este año el estrés hídrico causado por el sobregiro de agua era moderado, y es que en este periodo la apropiación de agua azul para la fresa fue de 0.22 (hm³) y el volumen concesionado de 2.14 (hm³) , es decir que solo se apropiaba este cultivo de un 10% del volumen concesionado, sin embargo la situación se agudiza para el año 2016 y es que el incremento en la producción de fresa causo un aumento en la demanda de agua, generando una apropiación de 42% del volumen concesionado, finalmente para el año 2017 el aprovechamiento de agua aumenta en un 3%. Aún cuando se evidencia estrés hídrico severo en dos años agrícolas, en promedio la huella hídrica azul de este cultivo no rebasaba un 30% del volumen concesionado de agua superficial y subterránea para uso agrícola.

Cuadro 5.9. Evaluación del grado de apropiación de agua azul no concesionada en el municipio de Lagunillas del periodo de 2015 a 2017

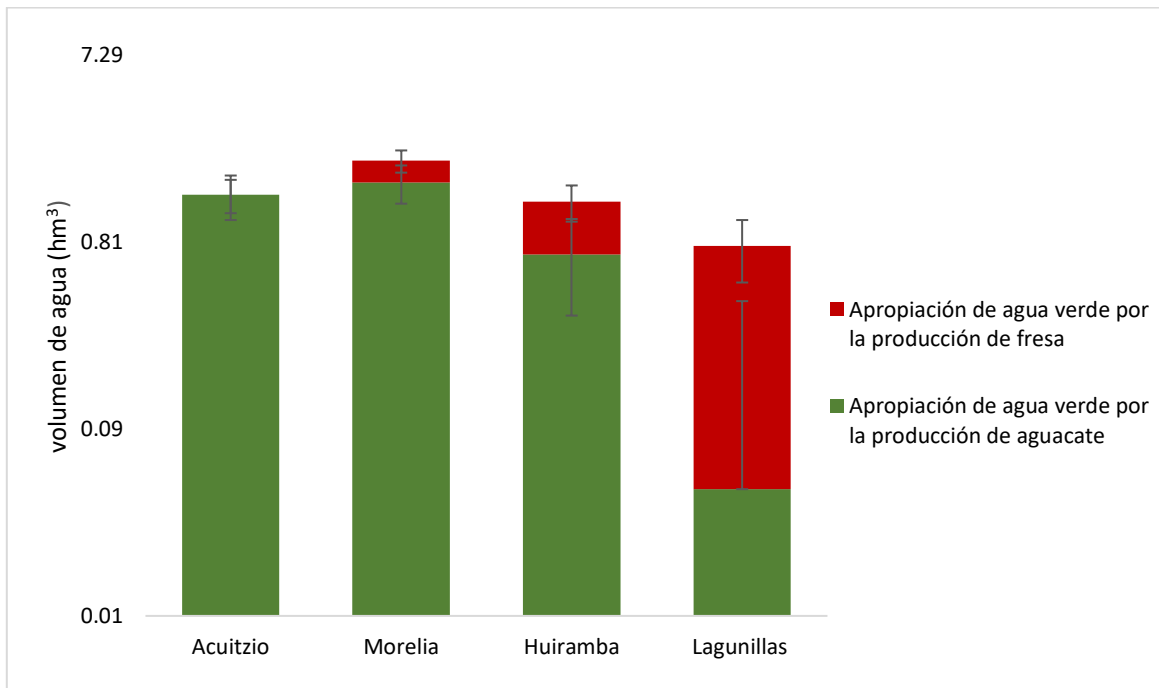
Año	Apropiación de agua azul aguacate (hm ³)	Apropiación de agua azul fresa (hm ³)	Volumen concesionado para uso agrícola (hm ³)	Porcentaje de apropiación de agua azul	Estrés hídrico
2015		0.22	2.14	10.00	Bajo
2016		0.91	2.14	42.00	Severo
2017	0.04	0.93	2.14	45.00	Severo
Promedio	0.04	0.68	2.14	32.33	Significativo

Nota: elaboración propia

Aunado a la estimación del estrés hídrico evidenciado en el flujo de agua azul, la presente investigación también estudio el volumen de agua verde apropiado por estos cultivos agrícolas. Entendemos que el flujo verde de agua representa la proporción de agua que proviene de la precipitación y que se infiltra en la zona insaturada del suelo, esta es una de las fuentes de agua de mayor importancia para la agricultura y es que en gran medida el agua que requieren los cultivos agrícolas proviene de esta fuente convirtiéndola en una fuente que juega un papel decisivo en el crecimiento de cultivos (Grammatikopoulou et al., 2020).

Sin embargo, al ser apropiado el flujo verde por los cultivos agrícolas no ingresa al subsuela lo que afecta directamente la recarga de los acuíferos. En este sentido, el estudio de Gómez et al. (2015) evidencio precisamente esta situación al comparar la partición de la precipitación en una huerta de aguacate y en una de bosque-pino-encino, demostrando que el cultivo de aguacate tiene impactos negativos ya que este cultivo reduce la cantidad de agua que ingresa al suelo a diferencia de los bosques que auxilian a la infiltración de agua.

Figura 5.4. Volúmenes de apropiación de agua verde por el cultivo de aguacate y fresa en los municipios de la Subcuenca de Coitzio estudiados.



Nota: elaboración propia

En este contexto, en los municipios estudiados de acuerdo a la cuantificación de la huella hídrica verde del cultivo de aguacate y fresa se determinó que en promedio el primer cultivo se apropia de 0.94 ($\text{hm}^3/\text{año}$) mientras que la fresa oscila en 0.45 ($\text{hm}^3/\text{año}$), esto indica que en promedio en este territorio se está un total de 1.39 ($\text{hm}^3/\text{año}$), además se evidencio que en el caso de los municipios de Acuitzio, Morelia y Huiramba el mayor porcentaje de agua verde apropiada es para el cultivo de aguacate, mientras que en Lagunillas el agua verde es demandada por la fresa (ver figura. 5.4).

Finalmente, (Chapagain & Hoekstra, 2011), en su estudio sobre la huella hídrica azul, verde y gris de cultivos y productos derivados de los cultivos, refiere la importancia del agua verde, e indica que a nivel mundial, el 86.5% del agua consumida en la producción de cultivos es agua verde, incluso en la agricultura de regadío, el agua verde a menudo tiene una contribución muy significativa al consumo total de agua, y es que las huellas de agua azul suelen ser grandes en

regiones áridas o semiáridas donde la escasez es alta. En este mismo tenor, otro estudio sobre la huella verde es el de (Aldaya et al., 2010) en el cual evalúa las implicaciones ecológicas que tiene el comercio internacional de agua verde, el autor manifiesta que tradicionalmente se ha hecho hincapié, en los flujos de agua azul, sin embargo, el agua de lluvia contribuye en gran medida a los requerimientos de agua del cultivo.

Conclusión

El uso del indicador de huella hídrica finalmente permitió evidenciar el consumo directo de agua azul y verde por parte de los cultivos agrícolas de aguacate y fresa en la Subcuenca de Coitzio. Para el periodo de 2012 a 2017 se determinó un consumo promedio neto de 15,785.33 (m³/ha/año) para el municipio de Acuitzio que involucro tanto el flujo verde como el azul, con los mismos parámetros para Morelia fue 15,439.4 (m³/ha/año), en Huiramba de 13,347.80 (m³/ha/año), y finalmente para el caso de Lagunillas con datos únicamente para el año 2017, su consumo de agua fue 14,460.00 (m³/ha/año).

El requerimiento de agua evidenciado en el párrafo anterior permitió estimar la huella hídrica de los cultivos, determinando en promedio un consumo de 872.83 Lts por cada kilogramo producido de **aguacate** para la modalidad de temporal y 1,603.69 Lts para la modalidad de riego, mientras que, para el caso de la producción de **fresa**, el consumo promedio fue de 351.90 Lts por cada kilogramo de los cuales 188.85 Lts provienen del flujo de agua verde y 162.95 Lts del flujo azul. La cuantificación del requerimiento de agua evidenció la excesiva demanda de agua por parte del llamado oro verde, ya que comparando el volumen de agua usado para el aguacate con el del cultivo de fresa este último escasamente consume un 28% del total.

En cuanto a la productividad es de suma importancia referir que este cálculo no refleja las ganancias en términos monetarios de los cultivos agrícolas estudiados, pero si auxilia a dimensionar en términos económicos lo que genera una cierta cantidad de metros cúbicos de agua en el costo de venta del agua. Bajo este entendido, se estimó que en promedio para el cultivo de **aguacate** en el periodo de 2012 a 2017 para el municipio de Acuitzio fue de 16.97 (\$/m³), para el municipio de Morelia el promedio para el periodo de 2016 a 2020 fue 21.39 (\$/m³), para Huiramba el promedio para el periodo de 2012 a 2017 fue de 35.22 (\$/m³) y finalmente para Lagunillas en el año estudiado la productividad azul fue de 30.47 (\$/m³). Respecto a la productividad económica hídrica del flujo verde se determinó un promedio para

el periodo estudio en Acuitzio de 13.65 (\$/m³), para Morelia de 38.99 (\$/m³), para Huiramba de 18.42 (\$/m³) y finalmente para lagunillas de 29.19 (\$/m³).

Con relación al cultivo de **fresa** la productividad económica hídrica azul en promedio para el periodo de 2016 a 2020 en Morelia fue de 129.76 (\$/m³), mientras que para el municipio de Huiramba para el periodo de 2015 a 2017 fue de 96.79 (\$/m³) y finalmente para Lagunillas fue de 86.13 (\$/m³), respecto a la productividad económica hídrica verde promedio para el cultivo de fresa en el municipio de Morelia en el periodo de 2012-2017 fue de 287.81 (\$/m³), para Huiramba fue de 53.93 (\$/m³) y para Lagunillas de 75.44 (\$/m³).

Respecto al grado de estrés hídrico se determinó que es severo debido al sobregiro de agua azul, esto significa que se está consumiendo un volumen considerable de agua que no se encuentra concesionado por el Registro Público de Derecho del Agua (REPDA) lo que demuestra un secuestro de este vital líquido por parte de los cultivos intensivos estudiados. Respecto a esta situación se estimó en el municipio de Acuitzio aproximadamente un 52% del volumen aprovechado por el cultivo de aguacate no se encuentra concesionado para su explotación, para Morelia el aguacate y la fresa se apropian de un 70% del volumen concesionado, en Huiramba estos mismo cultivos aprovechan un 57% de agua de manera ilegal ya que no cuenta con ningún registro para su uso, finalmente en Lagunillas la situación aún no es tan severa por que la siembra de aguacate apenas comenzó en el año de 2017.

A partir de la información resumida arriba, se demuestra que la producción agrícola intensiva, en nuestro caso la fresa y el aguacate, explota los recursos naturales y causa vulnerabilidad hídrica. Esto conlleva a que este tipo de agricultura se abraza de los fundamentos de la sustentabilidad débil considerando que solo extrae de la naturaleza los recursos naturales, situación que genera dos consecuencias: la primera relacionada con el comercio de agua en forma de mercancía, la segunda cuestión, resulta ser la generación de residuos y contaminantes que son vertidos a la naturaleza, creando daños a los ecosistemas.

Respecto a la primera afirmación se debe mencionar que estos cultivos agrícolas estudiados son principalmente de exportación, lo que significa que no solo se está

comercializando bienes alimenticios, sino agua en forma de insumos primarios. Esta situación es muy común hoy en día, como resultado de que las grandes economías como Estados Unidos, Japón, Canadá demandan aquellos productos agrícolas que concentran grandes volúmenes de agua con la finalidad de ahorrar sus flujos hídricos. Lo cual evidencia una carga ambiental y una deuda hídrica por parte de los países compradores del aguacate y la fresa al apropiarse del recurso agua que es un bien de la nación en nuestro país a partir de la importación de este tipo de productos agrícolas.

Este acaparamiento de agua coloca en una situación de vulnerabilidad al consumo humano de agua, ya que la población puede seguir viviendo sin consumir aguacate y fresa, pero si el ser humano no consume agua no podría vivir. Es importante también destacar que mientras un porcentaje considerable de la población apenas cuenta con el diario mínimo de agua establecido por la Organización Mundial de la Salud en 100 Lts diarios o 5 cubetas de agua, estos cultivos agrícolas acaparan gigantescos volúmenes de agua dejando a la población en riesgo de no contar con agua en cantidad y calidad suficiente.

En consecuencia, se debe trabajar en el desarrollo de un esquema de producción de aguacate y fresa considerando que el principio de la sustentabilidad implica que cada intervención en el ciclo hidrológico tiene que tomar en cuenta la capacidad de renovación y/o regeneración de los ecosistemas hídricos y el resto de ecosistemas y formas de vida asociados a estos. Lo anterior involucra entender que las partes biológicas y físicas de la naturaleza existen de manera unificadas por una diversidad de relaciones. Asimismo, se debe repensar la idea de que el crecimiento agrícola basado en un monocultivo de exportación denota esta expansión económica, que más que esto genera una serie de desigualdades y costos sociales y ambientales que estos cultivos agrícolas no internaliza y que están dañando a la Subcuenca de Cointzio, como nuestro estudio de caso.

Bibliografía

- Aguilar Hernández, G. (2017). Comprendiendo la sustentabilidad desde un punto de vista exergético en sistemas adaptativos complejos. *Ingeniería*, 135-142.
- Aldaya, M. M., Allan, J. A., & Hoekstra, A. Y. (2010). Strategic importance of green water in international crop trade. *Ecological Economics*, 69(4), 887–894. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.001>
- Alier, J. M. (2003). Ecología industrial y metabolismo socioeconómico: concepto y evolución histórica. *Economía industrial*, (351), 15-26.
- Arévalo Uribe, D., Lozano Arango, J. G., & Sabogal Mogollón, J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 7, 101–126.
- Arrojo, P. (2006). Las funciones del agua: valores, derechos, prioridades y modelos de gestión en La gestión del agua urbana en México: retos, debate y bienestar. David Barkin coordinador (pp. 47-56). México: Universidad de Guadalajara
- Arreguín Cortés, F., López Pérez, M., & Montero Martínez, M. (2015). Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático: efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México.
- Ávila, P. (2008). Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México. *Ciencias*, 90, 46–57. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=64411395008>
- Beatriz de la Tejera Hernández, Ángel Santos Ocampo, H. S. Q. (2012). El oro verde en Michoacán: ¿un crecimiento sin fronteras? Acercamiento a la problemática y retos. 15–40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5371180>
- Bellamy Foster, J. (2014). Marx y la fractura en el metabolismo universal de la naturaleza. *Monthly Review*, 15, 1-18.
- Beltrán, M. J., & Velázquez, E. (2015). La ecología política del agua virtual y huella hídrica. Reflexiones sobre la necesidad de un análisis crítico de los indicadores de flujos virtuales de agua en la economía. 44–56.
- Blaikie, Piers, Terry Cannon, Ian Davis y Ben Wisner (1998), Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres, La RED, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Bogotá.
- en: <http://www.desenredando.org>, consulta: marzo 2010

- Budds, J. (2004). Power, nature and neoliberalism: The political ecology of water in Chile. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 25(3), 322–342. <https://doi.org/10.1111/j.0129-7619.2004.00189>.
- Budds, J. (2012). La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: Un análisis del ciclo hidrosocial del valle del río La Ligua, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 52, 167–184. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022012000200010>
- Budds, J. (2020). Gobernanza del agua y desarrollo bajo el mercado: las relaciones sociales de control del agua en el marco del Código de Aguas de Chile. *Investigaciones Geográficas*, 59, 16. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2020.57717>
- Cardoso, M. M. (2017). Estudio de la vulnerabilidad socio-ambiental a través de un índice sintético / Caso de distritos bajo riesgo de inundación: Santa Fe, Recreo y Monte Vera, Provincia de Santa Fe, Argentina.
- Caro, D., Alessandrini, A., Sporchia, F., & Borghesi, S. (2021). Global virtual water trade of avocado. *Journal of Cleaner Production*, 285(xxxx), 124917. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124917>
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70(4), 749–758. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.11.012>
- Cleves, J. A., Toro C., J., & Martínez B., L. F. (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 10(1), 2016. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4460>
- Comisión Nacional del Agua. (2012). Estadísticas del Agua en México 2011. Agua en el mundo. Obtenido de http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo_8.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (2020). Aguas Nacionales. *LEY DE AGUAS NACIONALES*, 91.
- Constanza, R., Low R, B., & Ostrom, E. (2000). Ecosystems and human systems: a framework for exploring the linkages. En R. Constanza, B. Low R., E. Ostrom, & J. Wilson, *Institutions, ecosystems and sustainability* (págs. 18-35). CRC PRESS.

- Cruz Petit, B. (2012). Estrategias de política pública para el desarrollo sustentable, una visión crítica. *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 346-363.
- Earthscan. (2007). *Agua para la Alimentación, Agua para la Vida*. Londres: Instituto Internacional del Manejo del Agua.
- Falkenmark, M. (1989). The massive water scarcity now threatening Africa. 18(2), 112–118.
- Falkenmark M, Rockström J (2004) *Balancing water for humans and nature: the new approach in ecohydrology*. Earthscan, London
- FAO-UNESCO. (1973). Mapa mundial de suelos (Issue III). <http://www.fao.org/docrep/019/as358s/as358s.pdf>
- FAO. (2018). *Progresos en el nivel de estrés hídrico*
- Fernández-Jáuregui, C. A. (1999). El agua como fuente de conflictos: repaso de los focos de conflictos en el mundo. *Revista CIDOB d'Afers Internacionals*, 179-194.
- Flores, V., Gomez, C. M., Sanchez, V., Muñoz, M., Lopez, E., & Diaz, S. (1987). Agroindustria, conceptualización, niveles de estudio y su importancia en el análisis de la agricultura. *Revista de Geografía Agrícola*, (11-12).
- Foladori, G. (2001). El metabolismo con la naturaleza. *Herramienta*, 6(16).
- Foladori, G., & Pierri, N. (2005). *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. México: Porrúa.
- Fuerte, D. J. (2019). Sustentabilidad y la gestión del recurso agua en México: una revisión histórica. *Economía y Sociedad*, XXIII, núm, 13–27. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/510/51059979001/html/index.html>
- Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico*. Santiago de Chile: CEPAL.
- García, P. A. (Ed.). (2003). *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI: México desde una perspectiva global y regional*. El Colegio de Michoacán AC.
- García-Frapolli, E., Toledo, V. M., & Martínez Alier, J. (2008). Apropiación de la naturaleza por una comunidad maya yucateca: un análisis económico-ecológico. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, 7, 027-42

- Gomez-Tagle, A., Chavez, R. M., Gómez-tagle, A., & Morales-chávez, R. (2018). Hydrological impact of the green gold (avocado culture) in central Mexico; rainfall partition and water use comparison with native forests. November.
- Gómez-Tagle Ch, A., Gómez-Tagle R, A. F., Ávila O, J. A., & Bruijnzeel, L. A. (2015). Partición de la precipitación en un bosque tropical montano de pino-encino en el centro de México. *Bosque*, 36(3), 505–518. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000300017>
- Grammatikopoulou, I., Sylla, M., & Zoumides, C. (2020). Economic evaluation of green water in cereal crop production: A production function approach. *Water Resources and Economics*, 29(July), 100148. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2019.100148>
- Herrera, E. (2017). Oro verde a la sombra del volcán: la agroindustria transnacional del aguacate y las transformaciones de tenencia de la tierra en la sierra p'urhépecha. 213.
- Hoekstra, A. Y, Chapagain, A.K, Aldaya, M.M, y Mekonnen, M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. In *The Water Footprint Assessment Manual*. <https://doi.org/10.4324/9781849775526>
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, 21(1), 35–48. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9039-x>
- Hoekstra, A. Y., Mekonnen, M. M., Chapagain, A. K., Mathews, R. E., & Richter, B. D. (2012). Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability. *PLoS ONE*, 7(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032688>
- Hoekstra, A., & Chapagain, A. (2007). Integrated Assessment of Water Resources and Global Change. *Integrated Assessment of Water Resources and Global Change*, April. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5591-1>
- Hoekstra, Arjen Y., & Chapagain, A. K. (2008). Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources. In *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources*. <https://doi.org/10.1002/9780470696224>
- Hoekstra, Arjen Y., Mekonnen, M. M., Chapagain, A. K., Mathews, R. E., & Richter, B. D. (2012). Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability. *PLoS ONE*, 7(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032688>
- Hogeboom, R. J., Kamphuis, I., & Hoekstra, A. Y. (2018). Water sustainability of investors: Development and application of an assessment framework. *Journal*

of Cleaner Production, 202, 642–648.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.142>

- Infante-Amate, J., de Molina, M. G., & Toledo, V. M. (2017). El metabolismo social. Historia, métodos y principales aportaciones. *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica*, 27, 130-152.
- Khawas, V. (2006). Human Development Report 2005-2006. In *Social Change* (Vol. 36, Issue 3). <https://doi.org/10.1177/004908570603600312>
- Levy, Y., & Boman, B. (2020). - Water Management in Citrus: India. Sustainable Micro Irrigation Management for Trees and Vines, February, 84–99. <https://doi.org/10.1201/b17302-17>
- López-Granados, E., Mendoza-Cantú, M. E., & Acosta, A. (2000). Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Gaceta Ecológica*, 64(1), 19–34.
- López, A. (2011). Recursos hídricos y desarrollo sostenible: requisitos para la planificación y gestión compartida entre España y Portugal. *Observatorio Medioambiental*, 14, 157–175.
- Madrid, C., & Velázquez, E. (2008). El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual: una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía (España). *Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 8(0), 29–47.
- Martínez Alier, J., & Roca Jusmet, J. (2000). *Economía ecológica y política ambiental*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Martínez Austría, P. (2013). Los retos de la seguridad Hídrica. *Tecnología y Ciencia del Agua*, IV (5), 165-180.
- Martínez Ruíz, V. (2019). Manejo y gestión del agua en la agricultura frente a la crisis hídrica en Tarímbaro y Álvaro Obregón, Michoacán, México. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Tesis doctoral.
- Mas, J. F., Lemoine-Rodriguez, R., Gonzalez, R., Lopez-Sanchez, J., Pina-Garduno, A., & Herrera-Flores, E. (2017). Assessment of deforestation rates in Michoacan at detailed scale through a hybrid classification method of SPOT images. *MADERA Y BOSQUES*, 23(2), 119-131.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577–1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

- Melville, R. (1997). El concepto de cuencas hidrográficas y la planificación del desarrollo regional. Nueve estudios sobre el espacio: representación y formas de apropiación, 77-90
- Naredo, J. M. (2001). Configuración y crisis del mito del trabajo. Archipiélago, 48, 13-24.
- Naredo, J. M. (1996). Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. Documentación social, 102, 129-147.
- Novoa, V., Ahumada-Rudolph, R., Rojas, O., Munizaga, J., Sáez, K., & Arumí, J. L. (2019). Sustainability assessment of the agricultural water footprint in the Cachapoal River basin, Chile. *Ecological Indicators*, 98(October 2018), 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.048>
- Oel, P. R. Van, Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2008). water footprint of the Netherlands : quantification and impact assessment. *Water*, 33.
- Pamplona, F. (2000). Sustentabilidad y políticas públicas. *Gaceta Ecológica*, 46--53.
- Parada Puig, G. (2012). El agua virtual: conceptos e implicaciones. *Orinoquia*, 69-76.
- Peniche Camps, S., & Ávila García, P. (2018). Exploración del concepto de exportación de agua virtual: el caso de la fresa mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8), 1579–1590. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i8.1322>
- Poteete R., A., Janssen A., M., & Ostrom, E. (2012). Trabajar Juntos. Acción colectiva, bienes comunes y múltiples métodos en la práctica. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135(February 2017), 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Reis, A., Dos Santos, A. C., Anache, J. A. A., Mendiondo, E. M., & Wendland, E. C. (2020). Water footprint analysis of temporary crops produced in São Carlos (SP), Brazil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 25, 1–17. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020200017>
- Rendón, E. (2015). PERÚ. 2, 32–47.

- Rezaei Kalvani, S., Sharaai, A., Manaf, L., & Hamidian, A. (2019). Assessing ground and surface water scarcity indices using ground and surface water footprints in the Tehran province of Iran. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 4985–4997. https://doi.org/10.15666/aeer/1702_49854997.
- Ríos, E. (2012). Determinación de zonas forestales para la implementación de un proyecto piloto de pago por servicios ambientales hidrológicos en la subcuenca de Cointzio. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Rodríguez-Tapia, L., Morales-Novelo, J. A., Sosa-Rodríguez, F. S., Altamirano-Cabrera, J. C., & Torres-Ayala, F. (2016). Agua virtual en un marco insumo-producto para la cuenca del valle de México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(2), 51–66.
- Roberts, N. (1991). Geopolitics and the Euphrates' water resources. *Geography*, 76(2), 157–159.
- Rojas, S. P. (2007). El estado del arte como estrategia de formación en la investigación. *Revista studiositas*, Vol. 2 no. 3 (sept. 2007); p. 5-10.
- Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya, M. M., Rodríguez-Casado, R., Garrido, A., & Llamas, M. R. (2012). Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir. Fundación Marcelino Botín.
- Seguí, L., Rodríguez, M. del P., Urrea, M., & Guerrero, H. (2019). Water Stress: Gestión del agua, huella hídrica y economía circular. 1–46.
- Solana, J. L., Toledo, V., & Valencia, Á. (2007). El paradigma ecológico en las ciencias sociales. Barcelona: Edit Icaria, 150-220.
- Shiklomanov, I. A. (2000). Appraisal and assessment of world water resources. *Water international*, 25(1), 11-32.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stevens Vázquez, G. S. (2014). La vulnerabilidad hídrica en la ciudad de San Luis Potosí. Un análisis espacial. *Revista de El Colegio de San Luis*, 4, 130.
- Toledo, V. M. (2013). El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, 34(136), 41-71.

- Torres, A., Aguirre, R., Velázquez A., Bocco, G., Villegas, A. (2006). Ordenamiento Ecológico Territorial de la Cuenca del Lago de Cuitzeo. Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 186. http://bitacoraambiental.suma.michoacan.gob.mx/bitacora/ordenamientos/ord_2/documentos/ba_21_39.pdf
- Van Oel, P. R., Mekonnen, M., & Hoekstra, A. Y. (2008). The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment.
- Vázquez del Mercado, R., & Lambarri, J. (2017). Huella hídrica en México: análisis y perspectivas. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Velázquez, E. (2007). El agua virtual y la huella hídrica de la economía andaluza. Reflexiones a partir de una aproximación desde el modelo input-ouput. *Regional Studies*, 185-196.
- Velázquez-Alonso, E., & Aguilera-Klink, F. (2012). Del metabolismo social, al metabolismo hídrico. Conceptos y aplicaciones.
- Veraza, J. (2007a). Economía y política del agua. (Primera ed.) México: Editorial Itaca.
- Villegas, J. A., & Torres, B. E. (1977). Evapotranspiración. Serie Didáctica, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán, 45.
- Vladimirov, V., & Bica, I. (2019). Methodology and calculation model for recycling of composite construction products. *E3S Web of Conferences*, 85, 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198507016>
- Water footprint network. (19 de septiembre de 2018). Water footprint network. Obtenido (https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=es&prev=search&rurl=translate.google.com.mx&sl=en&sp=nmt4&u=http://waterfootprint.org/en/water-footprint/water-footprint-assessment/&xid=17259,15700023,15700124,15700149,15700186,15700190,1570)
- WWAP, (2016). Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016: agua y empleo. París, Francia: UNESCO.
- WWF. (1986). Thirsty Crops. Our food and clothes: eating up nature and wearing out the environment? Living Waters Booklet. Los países Bajos: WWF.
- Xinchun, C., Mengyang, W., Xiangping, G., Yalian, Z., Yan, G., Nan, W., & Weiguang, W. (2017). Assessing water scarcity in agricultural production system based on the generalized water resources and water footprint framework.

Science of the Total Environment, 609, 587–597.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.191>

Zepeda, J. (1988). Michoacán: sociedad, economía, política y cultura. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, UNAM, México.

Zulaica, L., & Ferraro, R. (210). Vulnerabilidad socio-ambiental y dimensiones de la sustentabilidad en un sector del peri-urbano Marplatense. *Revista de Geografía. Estudios Socioterritoriales*, 197-219.