



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Facultad de Economía "Vasco de Quiroga"

Maestría en Desarrollo y Sustentabilidad

TESIS

EL CAMBIO EN LA AGRICULTURA Y SU INFLUENCIA SOBRE LA FALTA DE DISPONIBILIDAD DE AGUA EN MICHOCÁN

Para obtener el grado de maestro en desarrollo y sustentabilidad

PRESENTA:

L.E. Carlos Geovanni Castillo Rico

Director de Tesis:

Dr. Carlos Federico José Cabrera Tapia

Integrantes de la Mesa de Sinodales:

Dr. Hugo Amador Herrera Torres

Dr. Faustino Gómez Sántiz

Morelia, Michoacán, México; julio de 2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación con profundo cariño y respeto a la memoria de mi madrina, la Sra. Aida Araceli Castillo Ávalos (1960 – 2024), quien me brindó su cariño incondicional desde el día en que nací hasta el momento de su partida. Los recuerdos de los momentos que compartimos nunca se borrarán de mi memoria. Los domingos por la tarde ya no serán los mismos, nos hará falta su presencia en la mesa, comiendo, jugando cartas y platicando. Su ausencia será dolorosa.

Su partida deja un vacío inmenso en la vida de mi familia y en la mía, pero siempre la recordaremos con mucho cariño.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mis padres, el Sr. Carlos Raúl Castillo Avalos y a la Sra. Olivia Rico Barriga quienes siempre me han apoyado incondicionalmente durante toda mi existencia en cada paso que he dado en los distintos aspectos de mi vida. Sin su cariño y ayuda no podría haber accedido a la educación. Estaré eternamente agradecido por todo lo que han hecho por mí.

Asimismo, agradezco a mi hermano Ulises Castillo Rico quien siempre ha estado presente en mi vida mostrándome su cariño desde su nacimiento y a mi novia Citlali Wendolin Rodríguez Páramo quien siempre me ha mostrado su cariño y apoyo en las distintas etapas de mi vida. Durante el desarrollo de este trabajo de investigación y durante toda la maestría, ella siempre creyó en mí, me compartió de su conocimiento, me motivó a seguir adelante y me apoyó de todas las formas posibles.

De igual manera, quiero agradecerle al Dr. Carlos José Federico Cabrera Tapia, por toda su ayuda y paciencia durante este proceso. Atesoro las enseñanzas que me ha brindado a lo largo de los años, estas han influenciado, para bien, en mi formación académica y personal. Le agradezco que me haya aceptado como tesista en la licenciatura y en la maestría, aprendí mucho bajo su orientación.

Agradezco también al Dr. Hugo Amador Herrera Torres, quien siempre ha mostrado ser un excelente profesor que invita a sus alumnos a la reflexión y quien siempre me ha brindado su apoyo incondicional desde la licenciatura hasta la fecha. Nunca olvidaré que fue el primer profesor en confiar en mí y en animarme para estudiar un posgrado.

De igual manera, quiero agradecerle al Dr. Faustino Gómez Sántiz, quien es un profesor excepcional que se preocupa verdaderamente por el desarrollo de sus estudiantes. Desde la licenciatura me ha mostrado su apoyo siendo muy accesible y paciente, cabe resaltar que durante la maestría me enseñó una serie de métodos muy útiles, algunos de los cuales se utilizan en esta investigación.

De igual manera, quiero agradecer al Dr. René Colín Martínez y a la Dra. Hilda R. Guerrero García Rojas a quienes les guardo mucho aprecio y respeto. Todo el tiempo han mostrado ser magníficos profesores y personas. Siempre atesoraré sus enseñanzas.

Agradezco a mis amigas de la maestría en Desarrollo y Sustentabilidad, Susana Hernández Madrigal, Alondra Torres Ambriz y a Janitzi Trejo Mora. Con las cuales pasé momentos increíbles y con las cuales construimos una red de amistad y apoyo.

También agradezco a mis amigos del doctorado en Desarrollo y Sustentabilidad, David Orlando Ramírez Naranjo, Raúl Magaña Jaimes, Gerardo Andrés Reyes Ábrego, Javier Ulises Maya Pérez, Alejandro Espinosa Pérez, Blanca Ileri Camacho Carrasco, Carmen Cecilia García Castillo, Edith Saraí Durán Tovar, Evelin Peña Palominos, Esteban Salinas García, Ana Rosa Rangel Argueta.

Quiero expresar una profunda gratitud a mis profesores, Ibrahim Santacruz Villasenor, Katia Beatriz Villafan Vidales, Rosalia, Salvador Garcia Espinosa, Dalia Villegas Moreno, Erandi Maldonado.

De la misma forma, agradezco al personal administrativo de la división de posgrado de la facultad de Economía, Myriam Pinette Gaona, Fco. Javier Mondragón, Xochitl Preisser Cano y a Guadalupe Moreno Martínez.

Quiero extender mis agradecimientos a la universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo y a la facultad de Economía vasco de Quiroga por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios desde el bachillerato hasta el posgrado.

Finalmente, agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por el incentivo económico que me brindó durante estos años. El cual me permitió desarrollar mis actividades académicas de forma adecuada.

Índice de contenido

Índice de tablas.....	i
Índice de figuras	ii
Resumen.....	iv
Palabras clave	iv
Abstract.....	v
Key words.....	v
Introducción	1
Capítulo 1.- Marco teórico: abordaje de problemáticas complejas a través de los sistemas.....	7
1.1.- Las diferentes formas de abordar la realidad compleja.....	8
1.2.- Estudio de la realidad compleja a través de los sistemas	13
1.2.1.- Tipos de sistemas	14
1.3.- Sistematizaciones de la economía y de la naturaleza	17
1.3.1.- La economía ambiental	17
1.3.2.- La economía circular.....	20
1.3.3.- La economía ecológica.....	25
1.4.- Definición del sistema hipotético	30
1.5.- Definición del subsistema económico hipotético	33
1.6.- Flujos hídricos del sistema propuesto.....	35
1.7.- Las relaciones de dominación, el motor del sistema	36
Capítulo 2.- Métodos para revelar los impactos de la agricultura en Michoacán sobre la falta de disponibilidad de agua	41
2.1.- Análisis multicriterio a través del Algoritmo de Saaty	42
2.1.1.- Evaluación de las alternativas.....	43
2.1.2.- Evaluación de los criterios	47
2.1.3.- Análisis multicriterio.....	49
2.2.- Regresión por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)	52
2.2.1.- Regresión lineal simple.....	53
2.2.2.- Pruebas de normalidad.....	61
2.2.3.- Pruebas de Multicolinealidad	62

2.2.4.- Pruebas de heteroscedasticidad	68
2.2.5.- Pruebas de autocorrelación	72
2.3.- Detección de autocorrelación espacial por medio del índice de Moran	80
2.3.1.- Tipos de autocorrelación	80
2.3.2.- Identificación de autocorrelación espacial por medio del índice de Moran univariado	80
2.3.3.- Identificación de autocorrelación espacial en más de una variable	83
2.4.- Matriz de cambio de uso de suelo	84
Capítulo 3.- El cambio propiciado por la apertura comercial en la agricultura.....	87
3.1.- Integración de México al mercado internacional	89
3.1.1.- El modelo primario exportador.....	89
3.1.2.- Modelo de sustitución de importaciones	90
3.1.3.- El neoliberalismo	91
3.2.- Globalización.....	94
3.3.-Crisis del 2008 la restructura del campo	96
3.3.1.- Deslocalización del capital agrícola en los países dominantes	98
3.3.2.- Desplazamiento de la forma de agricultura campesina y el surgimiento de la agroindustria	99
3.4.- La relación entre la agricultura y la falta de disponibilidad de agua.....	101
3.5.- La agricultura en México y su relación con la falta de disponibilidad de agua.....	102
3.5.1.- La agricultura en México.....	102
3.5.2.- La falta de disponibilidad de agua en México.....	106
Capítulo 4.- Contexto socioeconómico y ambiental del área de estudio: la agricultura y el agua en Michoacán. Interacciones entre el sistema hídrico y el subsistema agrícola por medio de flujos hídricos en Michoacán	112
4.1.- Aspectos generales de la agricultura en Michoacán.....	113
4.2.- Aspectos generales de la falta de disponibilidad de agua.....	119
4.3.- El sistema hídrico y el subsistema agrícola del estado de Michoacán	125
Capítulo 5.- La agricultura en Michoacán, una causa de la falta de disponibilidad de agua	128
5.1.- Impactos de la agricultura de riego en la disponibilidad de agua en Michoacán	129
5.1.1.- Aspectos generales de la agricultura de riego en Michoacán	129
5.1.2.- Estimación del consumo de agua	136
5.1.3.- Aumento de los flujos hídricos.....	157

5.2 La recarga de agua en Michoacán	158
5.2.1.- El agua un factor que determina espacialmente la distribución de la superficie agrícola	159
5.2.2.- El desplazamiento de la zona boscosa por la expansión de la frontera agrícola	176
Conclusiones.....	192
Referencias.....	197

Índice de tablas

Tabla 4.1: Mercado de destino de los productos agrícolas de Michoacán en 2021	117
Tabla 5.1: Principales plantaciones agrícolas de riego en Michoacán 2021	135
Tabla 5.2: Ponderación de acuerdo con la superficie agrícola que ocupa cada cultivo	137
Tabla 5.3: Resultados de la ponderación del volumen de producción de cada cultivo.....	137
Tabla 5.4: Ponderación de acuerdo con el precio medio rural de cada cultivo	138
Tabla 5.5: Ponderación de cada uno de los Criterios a evaluar	139
Tabla 5.6: Resultados finales del algoritmo de Saaty	139
Tabla 5.7: Regresión lineal.....	144
Tabla 5.8: Coeficiente de determinación y F estadístico	145
Tabla 5.9: Prueba Jarque-Bera.....	146
Tabla 5.10: Prueba Shapiro-Wilk	148
Tabla 5.11: Prueba Breusch-Pagan-Godfrey.....	149
Tabla 5.12: Prueba White	149
Tabla 5.13: Prueba Durwin-Watson.....	150
Tabla 5.14: Prueba Breusch-Godfrey	151
Tabla 5.15: Programa de riego (litros/árbol/semana) aplicable al aguacate en Michoacán, según la edad del cultivo y del clima predominante.....	152
Tabla 5.16: Proyección del modelo tomando en cuenta un crecimiento aritmético	154
Tabla 5.17: Proyección del modelo tomando en cuenta un crecimiento geométrico	156
Tabla 5.18: Matriz de pesos espaciales	160
Tabla 5.19: Regresión lineal.....	170
Tabla 5.20: Coeficiente de determinación y F estadístico	171
Tabla 5.21: Prueba Jarque-Bera.....	172
Tabla 5.22: Regresión lineal.....	173
Tabla 5.23: Coeficiente de determinación y F estadístico	173
Tabla 5.24: Prueba Jarque-Bera.....	174
Tabla 5.25: Prueba Breusch-Pagan-Godfrey.....	175
Tabla 5.26: Prueba White	175
Tabla 5.27: Principales usos del suelo en Michoacán en 2001	181
Tabla 5.28: Principales usos del suelo en Michoacán en 2021	182
Tabla 5.29: Diferencias del uso de suelo entre 2001-2021	183
Tabla 5.30: Matriz de cambio de uso de suelo	185
Tabla 5.31: Hectáreas de bosque sustituidas por la agricultura en Michoacán en el periodo 2001-2021.....	188
Tabla 5.32: Hectáreas de bosque sustituidas por los asentamientos humanos en Michoacán en el periodo 2001-2021.....	190

Índice de figuras

Figura 1.1: La disciplina.....	9
Figura 1.2: La multidisciplina.....	10
Figura 1.3: La interdisciplina	11
Figura 1.4: La transdisciplina	12
Figura 1.5: Definición de un sistema general	13
Figura 1.6: Sistema cerrado.....	15
Figura 1.7: Sistema abierto.....	16
Figura 1.8: Sistema aislado.....	17
Figura 1.9: Sistematización de la economía ambiental	18
Figura 1.10: Sistematización de la economía circular: Nature a shrinking parent system	21
Figura 1.11: Modelo lineal “take-make-waste”	22
Figura 1.12: La transición de la economía a la economía circular	23
Figura 1.13: Sistematización de la economía ecológica	26
Figura 1.14: Definición del sistema hipotético	31
Figura 1.15: Agrosistema	33
Figura 1.16: Forma genérica del sistema de investigación	34
Figura 2.1: Ponderación de las alternativas	43
Figura 2.2: Matrices identidad de las alternativas.....	45
Figura 2.3: Vectores de relevancia de alternativas	46
Figura 2.4: Ponderación de los criterios	47
Figura 2.5: Matriz identidad de los criterios	48
Figura 2.6: Vector de relevancia de los criterios	49
Figura 2.7: Matriz de relevancia de las alternativas (preliminar)	50
Figura 2.8: Matriz de relevancia de las alternativas y el vector de relevancia de los criterios....	51
Figura 2.9: Resultados del algoritmo de Saaty	51
Figura 2.10: Estadístico d Durbin-Watson	76
Figura 2.11: Gráfico de dispersión del índice de Moran.....	82
Figura 2.12: Datos sobre los tipos de suelo	84
Figura 2.13: Matriz de cambio de uso de suelo	85
Figura 3.1: Balanza Agroalimentaria de México en 2021 (Millones de dólares)	98
Figura 3.2: Perfil de los trabajadores agropecuarios y pesqueros (posición en el trabajo) en México 2020.	103
Figura 3.3: Ingreso mensual por trabajo agropecuario y pesquero en México 2020.....	103
Figura 3.4: Comportamiento histórico de la superficie agrícola (Ha) de México (1980-2020) ..	104
Figura 3.5: Rendimiento por hectárea sembrada (Ton/Ha) en México (1980-2020)	105
Figura 3.6: Exportaciones agroalimentarias de México 1994-2021 (Millones de dólares).....	106
Figura 3.7: Usos del agua en México 2018.	106
Figura 3.8: Cuencas con disponibilidad de agua en México 2020.	107
Figura 3.9: Comportamiento de las cuencas con déficit en México.	108
Figura 3.10: Disponibilidad de agua en acuíferos de México en 2020	109

Figura 3.11: Acuíferos sobre explotados en México.....	110
Figura 4.1: Comportamiento histórico de la superficie agrícola de Michoacán (1980	114
Figura 4.2: Rendimiento por hectárea sembrada (Ton/Ha) en Michoacán (1980-2020).....	115
Figura 4.3: Valor de la producción agrícola (Miles de pesos) en Michoacán (1980-2021)	116
Figura 4.4: Cuencas con disponibilidad de agua en Michoacán 2020.....	119
Figura 4.5: Volumen de agua superficial concesionado para uso agrícola en Michoacán 2005-2020 en hm ³	120
Figura 4.6: Usos del agua superficial en Michoacán 2020.	121
Figura 4.7: Disponibilidad de agua en acuíferos de México en 2020.....	122
Figura 4.8: Volumen de agua subterránea concesionado para uso agrícola en Michoacán (2005-2020)	123
Figura 4.9: Usos del agua subterránea en Michoacán 2020	124
Figura 4.10: El sistema hídrico y el subsistema agrícola del estado de Michoacán.....	125
Figura 5.1: Comportamiento histórico de la superficie agrícola de riego de Michoacán (1980-2020)	130
Figura 5.2: Comportamiento histórico de la producción agrícola de riego de Michoacán (1980-2020)	131
Figura 5.3: Comportamiento histórico del valor de la producción agrícola (millones de pesos) en Michoacán (1980-2021).....	132
Figura 5.4: Distribución espacial de la superficie agrícola de Michoacán en 2021.....	133
Figura 5.5: Distribución espacial del volumen de extracción concesionado de Michoacán en 2021	134
Figura 5.6: Extracción total de agua de uso agrícola (hm ³) en Michoacán (2005-2020).....	141
Figura 5.7: Superficie aguacatera de riego sembrada (Ha) en Michoacán (2005-2020)	142
Figura 5.8: Relación entre la superficie aguacatera de riego (Ha) y el consumo de agua agrícola (hm ³).....	143
Figura 5.9: Histograma de los residuos de la regresión lineal	146
Figura 5.10: QQplot de normalidad	147
Figura 5.11: Proyección aritmética de la superficie aguacatera de riego (Ha) en Michoacán (2005-2030)	154
Figura 5.12: Proyección geométrica de la superficie aguacatera de riego (ha) en Michoacán (2005-2030)	156
Figura 5.13: Mapa de conectividad	161
Figura 5.14: Índice de Moran univariado, diagrama de dispersión.....	162
Figura 5.15: Mapa del índice de Moran univariado.....	163
Figura 5.16: Mapa de significancia de los resultados.....	164
Figura 5.17: Índice de Moran bivariado.....	165
Figura 5.18: Mapa del Índice de Moran bivariado.....	167
Figura 5.19: Mapa de significancia del índice de Moran bivariado.....	169
Figura 5.20: Distribución espacial de los bosques en Michoacán 2021	179
Figura 5.21: Distribución espacial de la agricultura en Michoacán 2021.....	180
Figura 5.22: Distribución espacial del cambio de uso de suelo boscoso por agrícola	187
Figura 5.23: Distribución espacial del cambio de uso de suelo forestal por asentamientos humanos	189

Resumen

El estado de Michoacán enfrenta actualmente un problema en cuanto a la falta de disponibilidad de agua. En cuanto al agua superficial, la mayor parte de las cuencas hidrológicas presentan problemas de falta de disponibilidad de agua. Por otro lado, en cuanto al agua subterránea, gran parte de los acuíferos del estado también presentan este problema.

La agricultura representa la principal actividad antropogénica responsable de esta problemática, consumiendo el 90% del agua superficial extraída en el estado y el 80% del agua subterránea. Cabe resaltar que, en ambos casos, su consumo ha ido en aumento a lo largo del tiempo.

Las características presentes en la agricultura actual de Michoacán están determinadas por el modo en el que este territorio se inserta a la dinámica del capitalismo global y a las relaciones de dominación que permiten la existencia de este.

En Michoacán, se presentan altos consumos de agua, especialmente en los cultivos destinados a la exportación, como el aguacate. Esta situación implica que parte del agua extraída de las cuencas y acuíferos de Michoacán se traslade hacia otros sistemas hídricos. Por otro lado, la expansión de la superficie agrícola ha tenido como consecuencia una disminución en la superficie boscosa, la cual desempeña un papel fundamental en la recarga de agua en el estado. En conclusión, la agricultura en Michoacán ejerce una influencia negativa tanto en el consumo como en la recarga de agua, agravando de esta manera la falta de disponibilidad de agua en el estado.

Palabras clave

Agricultura, Comercio exterior, Agua

Abstract

The state of Michoacán is currently facing a problem regarding the lack of water availability. Regarding surface water, most hydrological basins present problems of water scarcity. On the other hand, concerning groundwater, a large portion of the state's aquifers also face this issue.

Agriculture represents the main anthropogenic activity responsible for this problem, consuming 90% of the surface water extracted in the state and 80% of the groundwater. It is worth noting that, in both cases, its consumption has been increasing over time.

The characteristics present in the current agriculture of Michoacán are determined by the way this territory is inserted into the dynamics of global capitalism and the relationships of domination that allow its existence.

In Michoacán, high water consumption is evident, especially in crops destined for export, such as avocado. This situation implies that part of the water extracted from Michoacán's basins and aquifers is transferred to other hydrological systems. On the other hand, the expansion of agricultural land has resulted in a decrease in forested areas, which play a fundamental role in water recharge in the state. In conclusion, agriculture in Michoacán exerts a negative influence on both water consumption and recharge, thus exacerbating the lack of water availability in the state

Key words

Agriculture, Foreign trade, Water

Introducción

El agua es un recurso fundamental para la reproducción de la vida y para la producción de mercancías. Todos los organismos dependen de ella para su existencia. A pesar de que el planeta Tierra está mayormente cubierto por agua, solo el 2.5% de esta es agua dulce. De esta fracción, únicamente el 1% es de fácil acceso para los seres humanos.

Esta agua dulce de fácil acceso, vital para la supervivencia de todos los organismos, está amenazada por actividades de origen antrópico, lo que agrava su escasez. Especialistas diagnostican que para el año 2025, dos tercios de la población mundial experimentarán algún nivel de estrés hídrico debido a la falta de acceso al agua.

El problema hídrico mencionado anteriormente puede dividirse en dos categorías principales para su estudio. Por un lado, la contaminación del agua dulce, la cual tiene que ver con su calidad. Por otro lado, la falta de disponibilidad de agua, la cual tiene que ver con su cantidad. Aunque esta investigación se enfoca únicamente en el problema de la disponibilidad de agua, es importante reconocer la complejidad general de la problemática hídrica. La falta de disponibilidad de agua se define en esta investigación como una situación en la que el consumo de agua en un cuerpo de agua supera su capacidad de recarga.

La falta de disponibilidad de agua puede presentarse tanto en las fuentes superficiales, como los ríos y lagos de las cuencas hidrológicas, como en las fuentes subterráneas, como los acuíferos.

Aunque el problema de la falta de disponibilidad de agua ocurre a escala global, esta investigación se centra específicamente en el estado de Michoacán, ubicado al centro-oeste en los Estados Unidos Mexicanos. Cabe señalar que este estado enfrenta problemas de falta de disponibilidad de agua en la mayoría de sus cuencas hidrológicas y en gran parte de sus acuíferos.

La falta de disponibilidad de agua en Michoacán podría ocasionar dificultades para los seres vivos que habitan en el estado, afectando negativamente la capacidad de carga

de los ecosistemas. Por otro lado, también podría causar problemas en los procesos de producción de las mercancías que satisfacen las necesidades de los habitantes del estado. De manera directa, afectaría a todo proceso de producción que involucre el agua como materia prima. De manera indirecta, afectaría debido al deterioro de los ecosistemas, lo que haría más difícil la obtención de materias primas. En otras palabras, la falta de disponibilidad de agua puede socavar las condiciones naturales necesarias para la reproducción de la vida y para el proceso de producción de mercancías en el estado.

Ante esta problemática, es importante señalar que la agricultura es la actividad de origen antrópico que más agua consume en estado de Michoacán. Esta acapara el 90% del agua superficial explotada en el estado, mientras que en cuanto al agua subterránea esta actividad consume el 80% del total de agua extraída. Es importante destacar que tanto el consumo de agua superficial como subterránea ha experimentados incrementos significativos durante los últimos años.

En la actualidad, la agricultura en Michoacán no ha experimentado un crecimiento significativo en su superficie agrícola y muestra tendencias muy volátiles tanto al alza como a la baja en su producción. Esto no corresponde con el incremento del consumo de agua por parte de la agricultura.

Por otro lado, el valor de la producción agrícola está mostrando una tendencia al alza sostenida a través del tiempo, la cual tampoco corresponde a las características agrícolas anteriormente descritas. Esto sugiere que en el estado se ha estado experimentado un cambio en los tipos de cultivos producidos.

Otra característica destacada de la agricultura en Michoacán, es el aumento de la superficie agrícola de riego en los últimos años, el cual es acompañado de una disminución simultánea en la superficie destinada a la agricultura de temporal. Es importante destacar que las frutas tienen una fuerte presencia en la superficie agrícola de riego en el estado y que muchos de estos cultivos son destinados al mercado de exportación.

En la actualidad, la producción agrícola del estado de Michoacán, tanto de riego como de temporal, está dominada por los cultivos de tipo frutal, los cuales representan el valor de producción más alto entre todos los tipos de cultivos producidos en este estado.

Es altamente probable que las características actuales de la agricultura en el estado de Michoacán estén influenciadas por la manera en que el territorio se integra en las dinámicas del mercado agrícola internacional y del capitalismo global.

Lo que determina las características de la producción de un país es el papel que este desempeña en la división internacional del trabajo. Según la teoría de la dependencia en el capitalismo global, existen dos tipos diferentes de países. Por un lado, están los países dominantes, caracterizados por tener un proceso de producción con una alta composición orgánica de capital en capital fijo, exportando manufacturas e importando materia prima. Por otro lado, se encuentran los países dependientes, que se caracterizan por tener un proceso de producción con una baja composición orgánica de capital de capital fijo, pero alta en capital variable, exportando materias primas e importando manufacturas.

En el caso de la agricultura, esta relación de dominación de los países dominantes sobre los países dependientes se caracteriza en que los primeros protegen su producción de granos básicos, lo que les asegura su soberanía alimentaria. Mientras tanto, los países dependientes se centran en la producción de cultivos altamente valorados en el mercado internacional, como es el caso de las frutas.

Como punto de partida para entender las dinámicas globales actuales de la agricultura, se tiene que analizar el cambio que esta sufrió a partir de la crisis financiera del 2008. La cual provocó un aumento en los precios internacionales de los productos agrícolas, mientras que simultáneamente la capacidad de compra de los países dominantes se vio reducida, lo cual ocasionó, en primera instancia una reestructuración agrícola en esos países, la cual tenía como objetivo obtener una seguridad alimentaria.

Esta situación provocó el surgimiento de un fenómeno conocido como deslocalización de capitales, el cual consistió en una migración de capitales de los países

dominantes hacia los países dependientes. A grandes rasgos esto causó acaparamiento, concentración, financiarización y extranjerización del suelo en estos últimos.

Los capitales se dirigieron hacia los países anteriormente mencionados debido a que estos contaban con condiciones económicas y naturales favorables para la producción agrícola.

Esta reestructuración de la agricultura trajo consigo efectos económicos positivos, pero también a su vez trajo problemas multidimensionales, como lo son la concentración de ingresos en una oligarquía, el acaparamiento de las tierras fértiles, el desplazamiento de productores familiares y campesinos, la erosión de los suelos y la alteración de los ciclos del agua. Si bien los anteriores son problemas que tienen interconexiones entre sí, esta investigación se limitará exclusivamente al estudio de la alteración de los ciclos del agua, específicamente a la falta de disponibilidad de esta.

Ante este escenario, es imperativo analizar la influencia que la agricultura ejerce actualmente en la falta de disponibilidad de agua en Michoacán. Es por que se elaboraron las siguientes preguntas, hipótesis y objetivos de investigación

Pregunta general de investigación:

¿En qué magnitud influye la agricultura orientada a satisfacer la demanda del mercado internacional sobre el consumo y la recarga de agua en el sistema hídrico del estado de Michoacán?

Hipótesis general de investigación:

La hipótesis general de esta investigación sostiene que el cambio hacia la producción de frutas orientadas al mercado internacional en Michoacán ha resultado en un incremento significativo en el consumo de agua agrícola. Además, se observa un aumento en la superficie destinada a la agricultura a expensas de la superficie forestal, la cual juega un papel fundamental en el equilibrio del sistema hídrico del estado.

Objetivo general de investigación:

El objetivo de esta investigación es estimar en qué medida la plantación de los principales cultivos destinados a la exportación influye en el consumo de agua y cómo la expansión de la superficie agrícola experimentada en los últimos años ha provocado la disminución de la superficie forestal, la cual desempeña un papel fundamental en la recarga del sistema hídrico del estado de Michoacán.

Primera pregunta específica de investigación:

¿De qué forma ha influido la apertura comercial sobre las particularidades de la agricultura actualmente existente en Michoacán?

Primera hipótesis específica de investigación:

La hipótesis de este objetivo particular indica que las características de la producción agrícola en Michoacán están influenciadas por la reestructuración global de la agricultura desencadenada por la crisis financiera de 2008. Esta crisis provocó una deslocalización de capitales y, como consecuencia, nuevas dinámicas de dominación entre países. Esto a su vez ha dado lugar a la adopción de diferentes patrones de producción y comercio en todo el mundo. En el caso particular del estado de Michoacán se puede observar una orientación hacia las frutas de exportación.

Primer objetivo específico de investigación:

Por lo tanto, el primer objetivo particular de la investigación consistirá en describir cómo a partir de la crisis financiera de 2008 se inició un proceso de reestructuración de la agricultura global, la cual mediante las relaciones de dominación forjó los patrones de producción agrícolas de cada país en función a su papel en la división internacional del trabajo.

Segunda pregunta específica de investigación:

¿En qué medida los principales cultivos frutales de Michoacán influyen sobre el consumo de agua destinado a la agricultura?

Segunda hipótesis específica de investigación:

El cambio significativo en Michoacán hacia la producción de cultivos frutales destinados a la exportación, como resultado de dinámicas globales en la agricultura, ha provocado un incremento significativo en el consumo de agua de uso agrícola. Este fenómeno se debe a la demanda intensiva de agua requerida para el cultivo, irrigación y mantenimiento de estos cultivos.

Segundo objetivo específico de investigación:

Estimar el consumo de agua agrícola de los principales cultivos frutales actualmente producidos en el estado de Michoacán.

Tercera pregunta específica de investigación:

¿En qué medida la expansión de la superficie agrícola en los últimos años ha contribuido a la reducción de la superficie boscosa en Michoacán?

Tercera hipótesis específica de investigación:

Debido a las particularidades de la agricultura en Michoacán, influenciadas por las dinámicas del capitalismo global en la agricultura, se ha incrementado la superficie agrícola a costa de varios tipos de suelo, incluyendo las zonas boscosas que son vitales para la recarga del sistema hídrico de Michoacán.

Tercer objetivo específico de investigación:

Calcular la extensión de la zona boscosa que ha sido reemplazada por la expansión de la superficie agrícola en los últimos años en el estado de Michoacán.

Capítulo 1.- Marco teórico: abordaje de problemáticas complejas a través de los sistemas.

Este capítulo establece las bases teóricas que guiarán esta investigación. Su propósito es construir una sistematización hipotética que identifique las relaciones entre un sistema hídrico genérico o de referencia y un subsistema agrícola genérico o de referencia. En capítulos posteriores, este será tomado como base para desarrollar una sistematización que identifique los intercambios de flujos hídricos entre las cuencas y acuíferos y la agricultura en el estado de Michoacán.

Para cumplir con este propósito, primero se deberá determinar el enfoque de la investigación. Esto es crucial, ya que influirá significativamente en la forma de abordar la problemática y será determinante en el diseño de la sistematización hipotética que se desarrollará en este capítulo.

Posteriormente, se analizan de manera general los aspectos principales de las sistematizaciones, así como sus principales clasificaciones. Cabe resaltar que para esta investigación se utilizará la clasificación del sistema elaborado en función de la relación que tenga con lo exógeno, considerando los tipos de relaciones propuestos por la termodinámica.

Subsecuentemente, se procedió a analizar los diferentes tipos de sistemas basados en la interdisciplina para examinar la relación naturaleza-economía. En esta investigación se analizaron las sistematizaciones propuestas por la economía ambiental, la economía circular y la economía ecológica. Estas se toman como base para la construcción de la sistematización hipotética que será utilizada en esta investigación.

Cabe resaltar que esta sistematización hipotética estará compuesta por un sistema hídrico y un subsistema económico. Por un lado, el sistema hídrico mantendrá intercambios de flujos hídricos con elementos externos al sistema; por otro lado, debido a la naturaleza de la investigación, el subsistema económico hipotético se delimita a un subsistema agrícola hipotético el cual interactuará con el sistema anteriormente planteado.

Es relevante señalar que los intercambios de flujos hídricos dentro de la sistematización hipotética tendrán un comportamiento acorde con lo señalado por los indicadores de agua virtual y huella hídrica. Por lo que se entiende que los flujos hídricos se pueden dar tanto en la producción de cultivos como en su comercio.

Para comprender el ritmo y volumen de los flujos hídricos presentes en la sistematización hipotética, es necesario analizar las particularidades de la agricultura en ese espacio geográfico. En este capítulo, se ha recurrido a la teoría de la dependencia, a partir de la cual se concluye que el contexto en el que el espacio geográfico se inserta en las dinámicas del capitalismo global determinará sus particularidades en la agricultura.

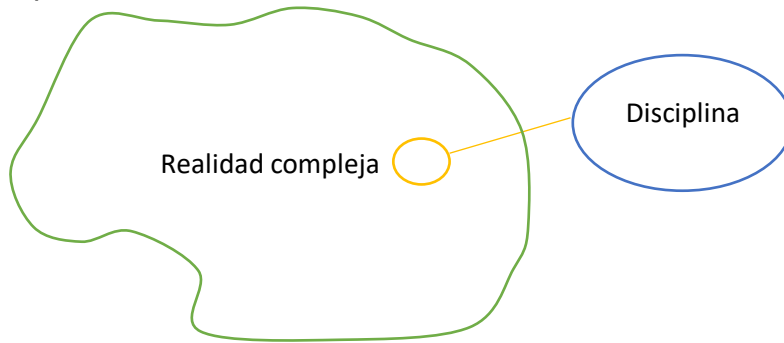
1.1.- Las diferentes formas de abordar la realidad compleja

Esta investigación parte desde el reconocimiento de que la problemática que se aborda es compleja y multidimensional. Se comprende que esta puede ser analizada desde distintas perspectivas, como lo son la disciplina, la multidisciplina, la interdisciplina y la transdisciplina. Cada una de estas perspectivas ofrece una comprensión única de la problemática, permitiendo distintos niveles de complejidad y profundidad.

La visión disciplinaria se caracteriza por estudiar la realidad a través de una sola disciplina. Por ejemplo, si la problemática anteriormente descrita se abordara desde la perspectiva de la disciplina, se podría analizar desde la economía, tomando en cuenta únicamente las herramientas de esta para analizar la estructura de la producción agrícola en Michoacán, pero esto invisibilizaría la problemática de la falta de agua. La observación de la realidad compleja a través de la disciplina es criticada debido a que solo permite conocer parte de esta, debido a que se hace una objetivación de la realidad que oculta las relaciones sistémicas dentro de la realidad.

Figura 1.1:

La disciplina



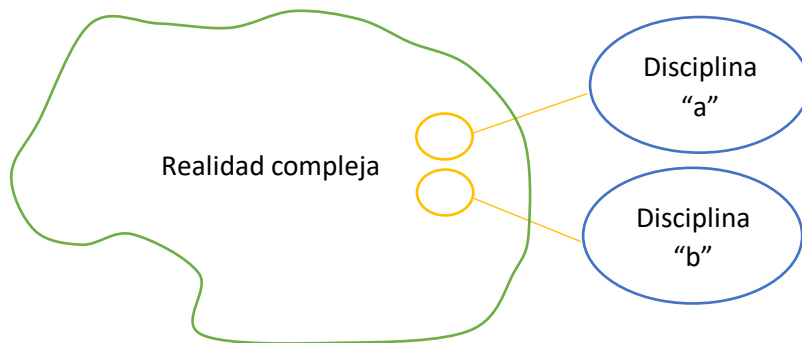
Elaboración propia.

Se podría considerar, a modo de ejemplo, que la disciplina proporciona de una especie de lámpara/linterna que ilumina lo desconocido que sería la realidad compleja (figura 1.1), pero esta luz no es lo suficientemente amplia para conocer la totalidad de la realidad compleja. Por lo tanto, permanecen invisibles o en la obscuridad algunas relaciones que se tejen dentro de esta. Es importante señalar que en la figura 1.1 se representa la realidad compleja como una figura deforme ya que esta es incomprensible para los seres humanos.

La visión multidisciplinaria, por otro lado, trata de ampliar las limitaciones de los enfoques disciplinarios a través de la colaboración entre disciplinas. Es decir, se realiza el estudio de la realidad compleja a través de la perspectiva de más de una disciplina, las cuales mantienen el mismo objeto de estudio, pero a su vez mantienen diferentes intenciones a la hora de su estudio y elaboran métodos y estrategias de investigación distintas entre sí (Paoli Bolio, 2019) y (Rendón Rojas, 2011).

Figura 1.2:

La multidiscipliplina



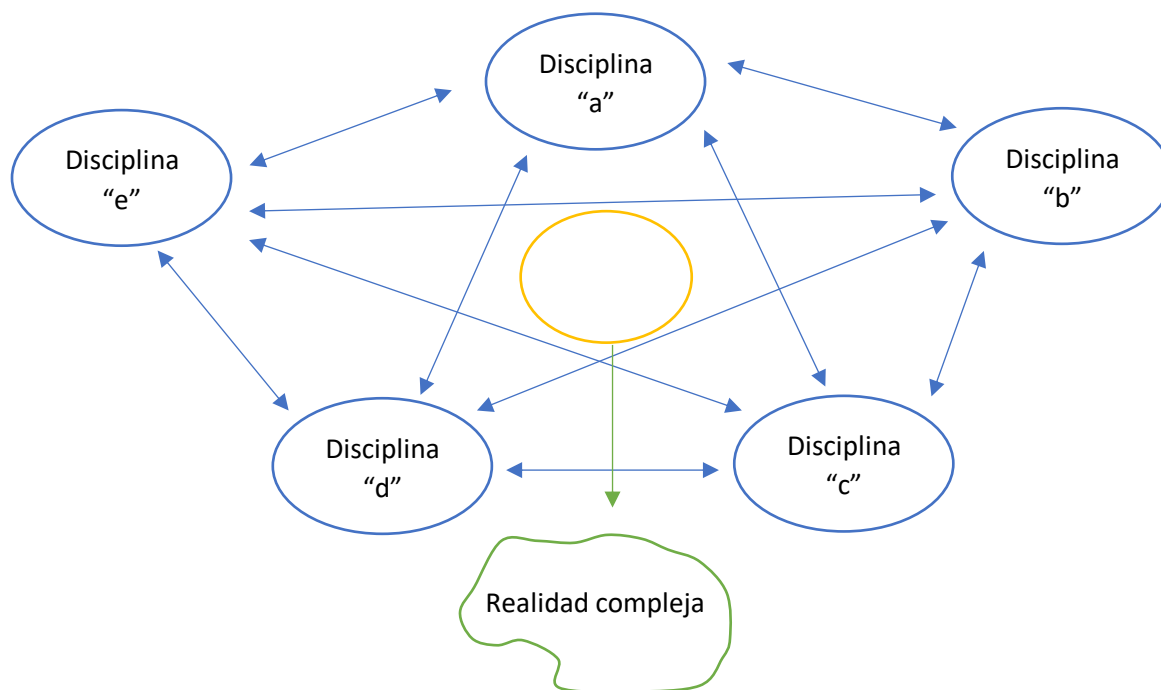
Elaboración propia.

La figura 1.2 muestra un ejemplo para poder comprender de manera más clara cómo funciona la multidiscipliplina. Se puede observar que tanto la disciplina “a”, como la “b” son utilizadas para comprender la realidad compleja; si bien esto permite una visión más amplia de la que provee la visión disciplinaria, tiene como limitación que las disciplinas no integran sus teorías y sus métodos de investigación, lo que ocasiona que existan elementos y relaciones que se mantienen invisibles debido a que se encuentran en la frontera del conocimiento de estas disciplinas.

La interdisciplina podría ser fácilmente confundida con la multidiscipliplina; no obstante, existen elementos distintivos que la separan de esta última. Si bien la interdisciplina también podría ser catalogada como una integración disciplinaria, esta va más lejos debido a que las disciplinas que abordan el objeto de estudio comparten las mismas intenciones. Es por eso que a través del dialogo entre disciplinas se construye una estructura teórica que contiene conceptos enunciados y teorías propios. Cabe resaltar que en esta los procedimientos de investigación cambian de acuerdo a cada disciplina (Paoli Bolio, 2019) y (Rendón Rojas, 2011).

Figura 1.3:

La interdisciplina



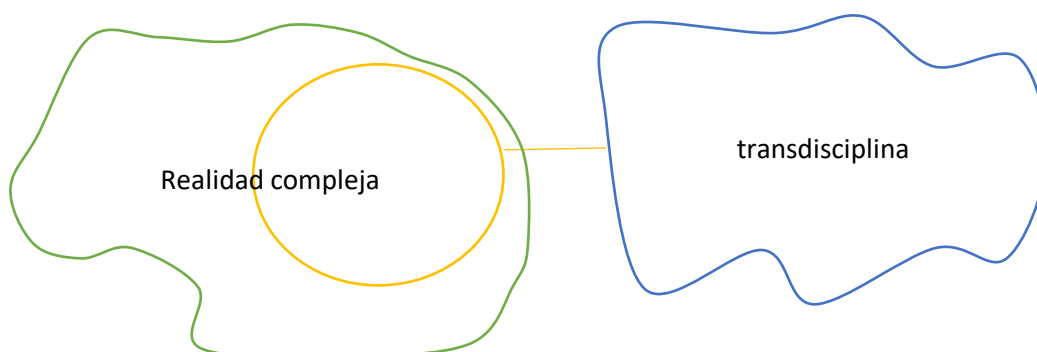
Reelaborado a partir de Rendón Rojas (2011, p.9).

En la figura 1.3 se puede observar cómo a partir del consenso entre disciplinas se construye un aparato teórico capaz de conocer de manera más amplia e integral la realidad compleja. Regresando a los ejemplos anteriormente mencionados, podría argumentarse que la interdisciplina es capaz de iluminar un área más amplia de la realidad compleja en comparación con la disciplina y la multidisciplina. A pesar de que la interdisciplina es más precisa a la hora de analizar la realidad compleja, esta última no es revelada del todo.

Por último, la transdisciplina está caracterizada por agrupar diversas disciplinas de forma integral trascendiendo las fronteras de cada una de ellas con el afán construir un campo de conocimiento nuevo que permita tener un objeto de estudio en común, intenciones comunes y apropiándose de los distintos métodos que existen en las diferentes disciplinas para poder utilizarlos a la hora de explicar los distintos fenómenos (Paoli Bolio, 2019) y (Rendón Rojas, 2011).

Figura 1.4:

La transdisciplina



Elaboración propia.

La figura 1.4 puede ayudar a la comprensión de lo que es la transdisciplina. Se puede observar que las disciplinas, incluso aquellas muy distantes y diferentes, se han integrado en un nuevo cuerpo teórico que trasciende las fronteras de la disciplina, este proceso impide la existencia de huecos del conocimiento que se pueden ubicar entre las fronteras de una disciplina y otra. Por lo tanto, esta es la forma que puede permitir una visión más amplia de la realidad compleja. Aunque es importante señalar que aun con la implementación de la transdisciplina la realidad compleja no puede ser revelada en su totalidad

Según lo señalado anteriormente la transdisciplina es la vía por la cual se puede conocer de manera más certera y amplia la realidad compleja, es por esto que se buscará que esta investigación tienda hacia ella, aunque se reconoce lo complejo que puede llegar a ser.

Considerando lo expuesto anteriormente, la presente investigación intenta abordar la problemática mencionada a través de un enfoque interdisciplinario. Esto debido a que abordar esta problemática a través de la transdisciplina es bastante complicado y hacerlo desde el enfoque disciplinario, en este caso desde la economía, limitaría la comprensión de esta.

1.2.- Estudio de la realidad compleja a través de los sistemas

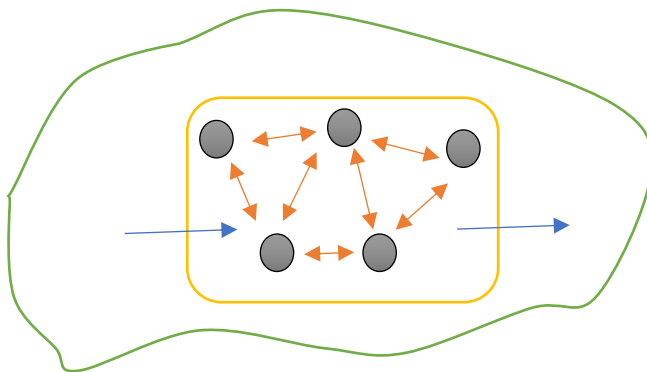
Como se mencionó anteriormente, la problemática tratada en esta investigación se abordará a través de un intento de interdisciplina que permita una visión mucho más amplia que la convencional basada en la visión disciplinaria. Por este motivo sería interesante utilizar un enfoque sistémico, en lugar de uno analítico-reduccionista.

El análisis de esta investigación se centrará de manera más específica en la Teoría General de Sistemas. Esta consiste en la construcción de dos categorías, el sistema y el subsistema. El sistema corresponde a un subconjunto de la realidad compleja, mientras que el subsistema es a su vez un subconjunto del sistema. Es importante señalar que ambos mantienen estrechas relaciones entre sí (Cathalifaud y Osorio, 1998).

Dichas relaciones entre categorías influyen sobre el comportamiento del sistema. La programación de cada sistema debe estar en función de conseguir una meta, por ejemplo, en el caso de esta investigación la construcción de un sistema general podría estar en función de observar cómo la agricultura actualmente existente en el estado de Michoacán influye sobre falta de disponibilidad de las cuencas y acuíferos de este territorio.

Figura 1.5:

Definición de un sistema general



Elaboración propia.

En la figura 1.5 se puede observar cómo se define un sistema general. Se parte de esta figura amorfa de color verde la cual representa la realidad compleja, a esta se le

realiza una especie de “corte” para facilitar su comprensión, a este corte se le conoce como sistema, dentro de este sistema se encuentran los subconjuntos pertenecientes al sistema.

De la misma manera, en la figura 1.5 se pueden observar las dos principales relaciones sistémicas. La primera pertenece a la relación entre el sistema y sus subconjuntos, la cual está representada por las flechas color naranja, estas muestran cómo se puede determinar el comportamiento de un sistema a través de la relación entre sus subconjuntos; la segunda corresponde a la relación existente entre la realidad compleja y el sistema, la cual está representada por las flechas azules, estas indican que el sistema se verá afectado por las relaciones exógenas a este.

Es importante señalar que de la misma manera que los sistemas están conformados por los subsistemas, estos últimos están estructurados a partir de elementos, lo cuales determinan el comportamiento de subsistema.

1.2.1.- Tipos de sistemas

Los sistemas pueden ser clasificados dependiendo de su entidad, origen o su relación con lo exógeno (Cathalifaud y Osorio, 1998).

La entidad se refiere a la clasificación de un sistema dependiendo si este es real, irreal o si se trata de un modelo. Un sistema real es aquel que existe independientemente de la existencia del investigador; por otro lado, el irreal se caracteriza por ser una construcción simbólica; y, por último, el modelo, el cual se caracteriza por hacer abstracciones de la realidad.

El origen se refiere a la clasificación de un sistema dependiendo de si su estructuración es dependiente o independiente por parte de otros sistemas. Estos se pueden clasificar en naturales y artificiales.

La relación a lo exógeno se refiere a la clasificación de un sistema dependiendo de la relación de intercambio entre el sistema y la realidad compleja (Cathalifaud y Osorio, 1998).

En esta investigación, se empleará la clasificación de sistemas según su relación con lo exógeno como un marco analítico. Se analizarán los tipos de intercambios

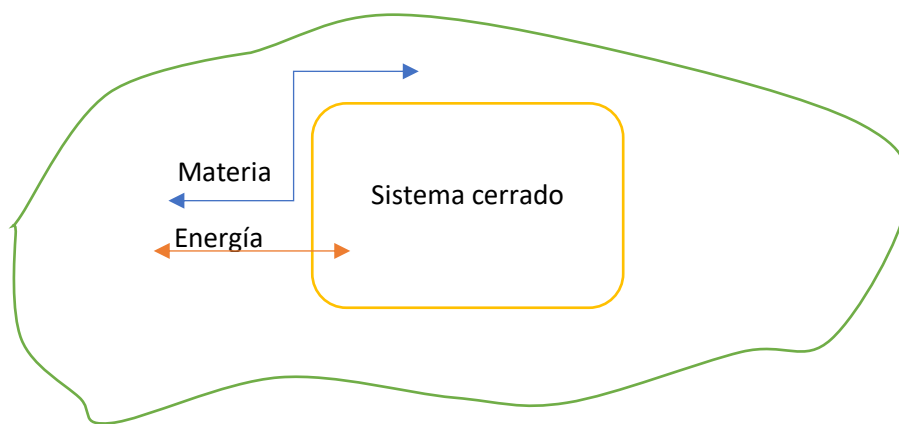
presentes en un sistema a partir de su relación con lo externo. Para esta clasificación, se adoptará la propuesta de la termodinámica.

Los sistemas termodinámicos pueden clasificarse como sistemas cerrados, abiertos o aislados (Ignacio Martínez, Vazquez Flores, Briseño Sánchez y Atilano León, 2021) y (Gil Atanacio, Villeda Cruz, Pérez Segovia y Mucio Martínez, 2021).

Los sistemas cerrados son aquellos que se caracterizan por mantener intercambios de energía entre el sistema y lo que se encuentra fuera de este, pero, por otro lado, este no presenta intercambios de materia con lo que está fuera. Unos ejemplos de estos podrían ser un reloj de cuerda, un termo o incluso el planeta tierra.

Figura 1.6:

Sistema cerrado



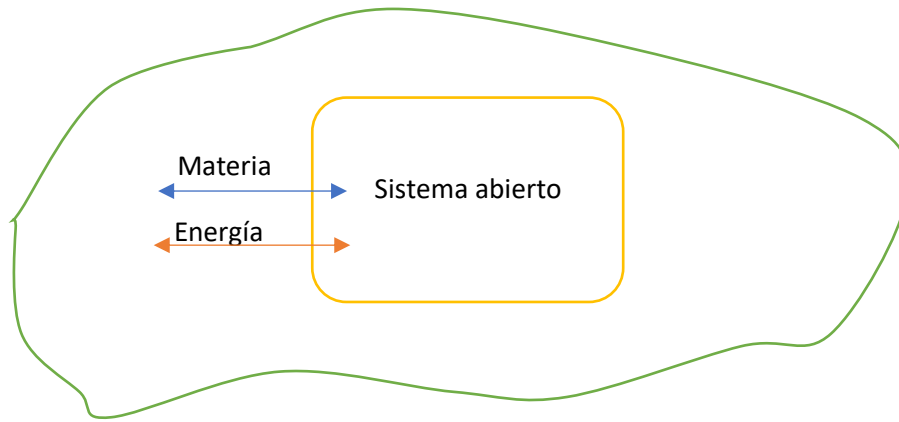
Elaboración propia con base en Ignacio Martínez, *et. al.* (2021).

En la figura 1.6 se presenta un ejemplo de un sistema cerrado. La flecha azul señala que no existen intercambios de materia entre el sistema y lo que existe en su exterior, mientras que la flecha naranja indica tanto una entrada como una salida de energía en el sistema.

Por otro lado, los sistemas abiertos sí permiten la entrada y la salida de materia y energía. Cabe resaltar que la mayor parte de los sistemas naturales son sistemas abiertos. Unos ejemplos de estos podrían ser una célula, una planta, un curso de agua como un río o incluso los órganos del cuerpo humano.

Figura 1.7:

Sistema abierto



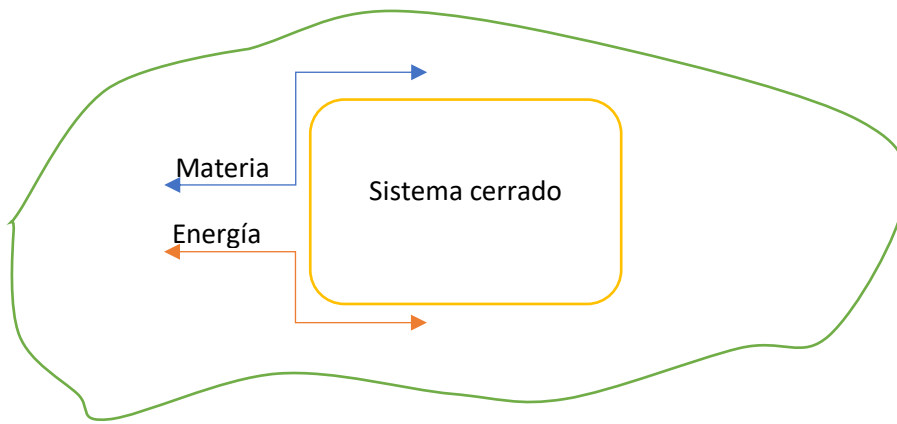
Elaboración propia con base en Ignacio Martínez, *et. al.* (2021).

En la figura 1.7 se puede observar cómo los sistemas abiertos intercambian energía y materia con lo que se encuentra más allá de sus fronteras.

Por último, la termodinámica reconoce la existencia del sistema aislado. Este se caracteriza por no mantener intercambios de materia ni de energía. Unos ejemplos de estos serían Una bomba de gas, alimentos enlatados e incluso un traje de neopreno (Gil Atanacio, *et. al.*, 2021).

Figura 1.8:

Sistema aislado



Elaboración propia con base en Ignacio Martínez, *et. al.* (2021)

En la figura 1.8 se puede observar cómo en un sistema aislado no existen intercambios de materia ni de energía entre el sistema y todo aquello que se encuentra fuera de sus fronteras. Cabe resaltar que esto no significa que el sistema sea un conjunto vacío. Dentro del sistema existen una serie de transformaciones de materia y energía que podrían ser interesantes de analizar.

1.3.- Sistematizaciones de la economía y de la naturaleza

Tomando en cuenta lo anterior, este subapartado busca exponer de manera general las principales sistematizaciones que se hacen del sistema económico dentro del sistema natural, esto con el fin de tomarlas como base para la elaboración de una sistematización pertinente para esta investigación.

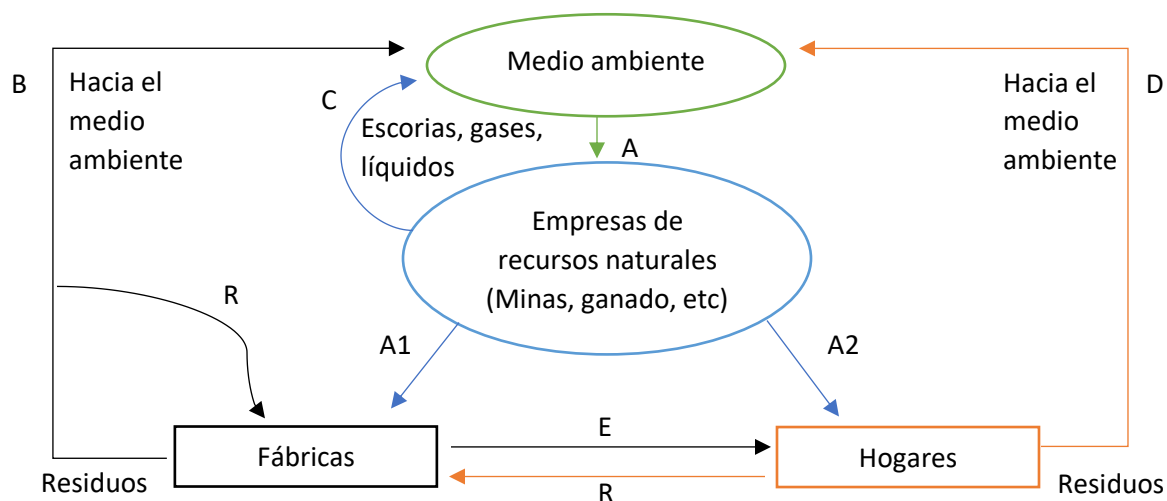
1.3.1.- La economía ambiental

Si bien la economía ambiental desarrolla más temas además de la sistematización de la relación economía-naturaleza, en este subapartado se centrará solo a exponer el funcionamiento de esta.

El sistema construido desde la economía ambiental puede variar levemente dependiendo de los autores, pero generalmente se caracteriza por plantear a la naturaleza como un sistema global y a las actividades económicas como un subsistema de este. Se puede identificar que el sistema natural es planteado como un sistema aislado debido a que no presenta intercambios de materia ni de energía con el exterior, mientras que entre el sistema natural y el subsistema económico existen intercambios de materia. Cabe señalar que se reconoce que la existencia del subsistema económico está condicionada a la existencia del sistema natural y que el primero puede llegar a generar efectos que ponen en riesgo la existencia del segundo.

Figura 1.9:

Sistematización de la economía ambiental



Elaboración propia modificando a Riera, García, Kristöm y Brännlund (2016, p. 13).

La figura 1.9 expone una de las sistematizaciones que hace la economía ambiental sobre la relación economía-naturaleza. Esta corriente supone que la tierra es un sistema cerrado por lo que la cantidad de recursos ambientales disponibles es fija. Por lo tanto, si se llegan a consumir no se repondrán con ingresos materiales provenientes del espacio.

La naturaleza es la condición necesaria que necesita el ser humano para existir y para poder producir mercancías, si los recursos naturales son limitados la producción de mercancías es limitada. Por lo tanto, el crecimiento económico también lo es. Aunque de

manera gráfica no se observa, la economía ambiental implícitamente señala que la naturaleza es un sistema que permite la existencia de un subsistema económico.

El sistema que plantea la economía ambiental contempla el intercambio de materia entre el sistema natural el cual denomina como medioambiente y el subsistema económico el cual tiene elementos como lo son las empresas de recursos naturales, fábricas y hogares. El intercambio de materia que existe entre ambos está regido por la primera y la segunda ley de la termodinámica.

La primera ley de la termodinámica implica que la materia y la energía no se destruye solo se transforma, por lo tanto, las extracciones de materia del medio ambiente, representadas en la figura 1.9 como “A”, serán iguales a la suma de los residuos generados por el subsistema económico, $B+C+D$,

Le segunda ley de la termodinámica tiene que ver con la entropía, es decir, la energía y la materia están organizadas o estructuradas de una forma determinada, pero cada transformación tiende a desestructurarla, cuanto mayor sea la desestructuración será menos utilizable (Riera, García, Kristöm y Brännlund, 2016). En el caso del sistema planteado en la figura 1.9, la materia que fluye entre sistemas seguirá siendo la misma en cantidad, pero en términos de “calidad” cada transformación la desestructurará cada vez más hasta volverla inutilizable.

La explicación del funcionamiento del sistema planteado en la figura 1.9 “inicia” con la extracción de recursos naturales que se da del medio ambiente al subsistema económicos por parte de las empresas de recursos naturales, la cual está representada en la figura con la flecha A; estas materias primas extraídas pueden ser directamente consumidas por los hogares, esta acción está representada con la flecha A1; de la misma manera las materias primas pueden ser utilizadas en los procesos de producción de otros bienes. Por lo tanto, son trasladadas como insumos para la producción de otras industrias, esta relación está representada por la flecha A2. Por último, las empresas que reciben las materias primas, transforman estas a través de un proceso de producción teniendo como resultado una mercancía más elaborada, la cual es vendida para su consumo en los hogares, esta relación está representada por la flecha E.

En cuanto a los flujos de materia que se dan desde el subsistema económico hacia el medio ambiente, la extracción misma de materias produce desechos materiales que son liberados hacia el medio ambiente, esta relación está representada en la flecha C. Por otro lado, los desechos del consumo de los hogares son trasladados hacia el medio ambiente representado por la flecha D; de la misma forma los desechos derivados del proceso de producción de mercancías se trasladan hacia el medio ambiente, este proceso es representado por la flecha B. Todas estas descargas producen problemas ambientales.

No todos los desechos derivados del proceso de producción y del consumo de mercancías es descargado sobre el medio ambiente en este modelo, parte de estos son procesados para poder formar parte de un proceso de producción futuro y evitar que estos perjudiquen el medio ambiente. Esta acción es conocida como reciclaje y está representada en la figura 1.9 en la flecha con la letra R.

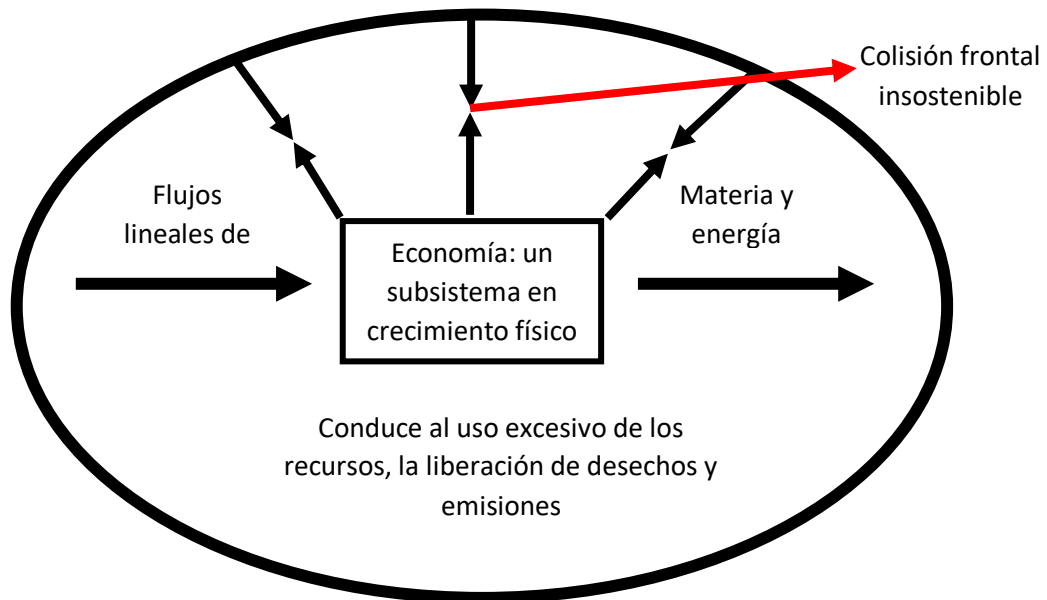
Cabe resaltar que en la economía ambiental los daños ambientales ocasionados por los procesos de producción son etiquetados como externalidades negativas y son consideradas un fallo del mercado. La existencia de estas impide que se obtener el máximo beneficio social.

1.3.2.- La economía circular

La economía circular es una corriente relativamente contemporánea y actualmente adoptada por algunos países y por organismos supranacionales. La sistematización que propone se da a través de una crítica a la economía lineal y a la economía del reciclaje debido a su insostenibilidad. La economía circular, al igual que la economía ambiental plantea la existencia de un subsistema económico que depende del sistema natural para existir (figura 1.10).

Figura 1.10:

Sistematización de la economía circular: Nature a shrinking parent system

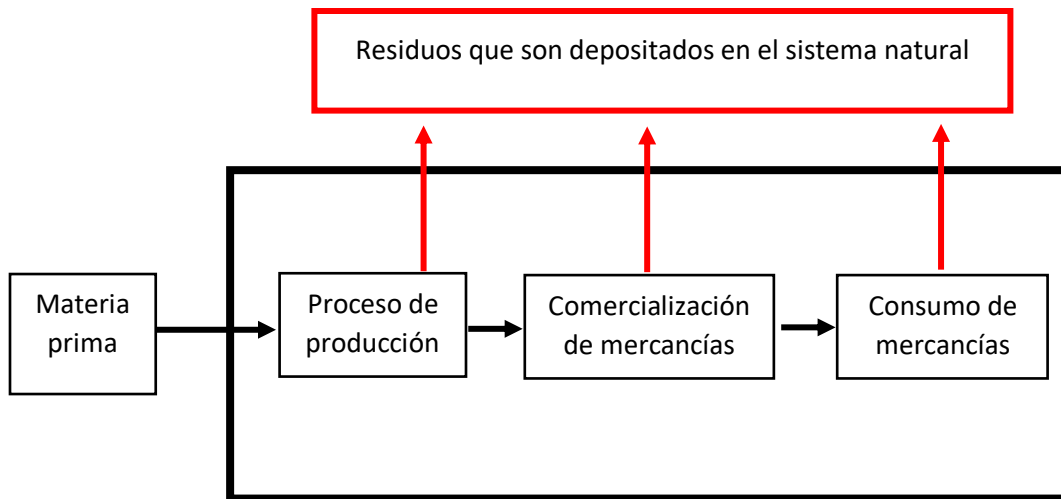


Tomado de Korhonen, Honkasalo y Seppälä (2018).

En la figura 1.10 se puede observar cómo sistematiza la economía circular la relación del subsistema económico con el sistema natural. Es clave señalar que la economía circular supone que el subsistema económico tiene un comportamiento lineal el cual no puede ser sostenible.

Figura 1.11:

Modelo lineal “take-make-waste”



Elaboración propia con base en Martínez y Porcelli (2018).

El proceso lineal de la economía está definido por tomar del sistema natural las materias primas necesarias para hacer posible el proceso de producción (take), durante ese proceso estas son transformadas en mercancías (make) a partir de la aplicación de trabajo y por medio de la implementación de maquinaria. Posteriormente las mercancías son trasladadas hacia los espacios físicos donde serán comercializadas para seguidamente ser consumidas.

En cuanto a los residuos generados, estos inician desde el momento que la materia prima es tomada e introducida hacia el subsistema económico, el ciclo continúa debido a que dentro del proceso de producción también existen desechos que salen del subsistema, posterior a eso el proceso de comercialización genera desechos, y, por último, una vez que la mercancía es consumida también genera desechos; todos estos son vertidos hacia el sistema natural. En la economía circular se le da un peso muy importante a cómo la vida útil de la materia prima termina con el consumo y es devuelta hacia el sistema natural.

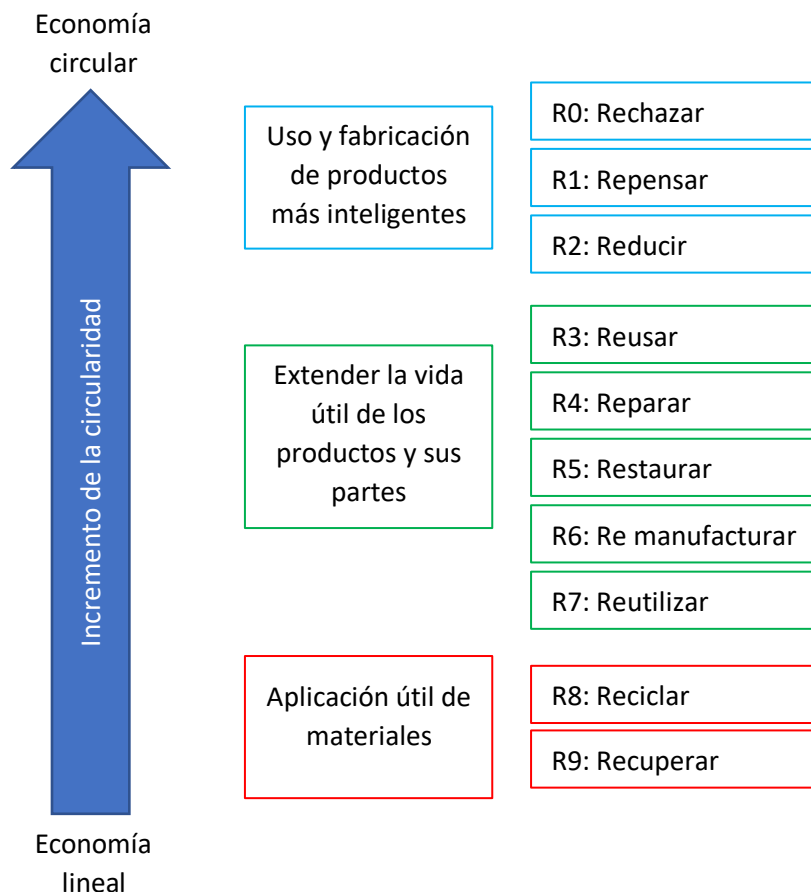
Existe un punto muy interesante dentro de la economía circular, el cual puede observarse en las figuras 1.10 y 1.11. Estas muestran que la expansión de la economía lineal trae, por un lado, un aumento en el ingreso de materia y de energía, en forma de

materias primas, hacia el subsistema económico para sustentar el crecimiento, esto provoca que el sistema natural disminuya su tamaño provocando una colisión frontal insostenible; por otro lado, también se obtiene una degradación del sistema natural debido a los desechos producidos por el subsistema económico.

La economía circular ofrece como alternativa pasar del modelo lineal a un modelo circular el cual permite extender la vida útil de la materia que se encuentra en el sistema natural y que es introducida al subsistema económico. De esta manera se reduce la extracción de materia virgen y al mismo tiempo se reduce la cantidad de residuos expulsados de este subsistema a la naturaleza. La transición a la circularidad estará guiada por las siguientes acciones (figura 1.12).

Figura 1.12: *La transición de la economía a la economía circular*

La transición de la economía a la economía circular



Basado en Kirchherr, Reike y Hekkert (2017).

En la figura 1.12 se puede observar cómo una economía lineal se puede convertir en una economía circular a partir de la implementación de tres grandes acciones, las cuales son la aplicación útil de materiales, la extensión de la vida útil de los productos, así como la de sus partes y el uso y fabricación de productos más inteligentes (Kirchherr, Reike y Hekkert, 2017).

En la acción denominada como aplicación útil de materiales se puede encontrar que está compuesta por dos acciones específicas las cuales son el recuperar y el reciclar; el recuperar hace referencia a cuando el material de la producción es incinerado para aprovechar su energía, mientras que el reciclaje se refiere a que mediante un proceso se puede evitar desechar los residuos de la producción o del consumo y que estos se pueden utilizar nuevamente (Kirchherr, Reike y Hekkert, 2017).

En la acción denominada como extender la vida útil de los productos y sus partes está compuesta por acciones específicas como los son el reutilizar, remanufacturar, restaurar, reparar y reusar. El reutilizar puede ser entendido como utilizar un producto desechado o sus partes en un producto nuevo que tenga una función diferente al desechado; re manufacturar es cuando se utilizan las partes de un producto desechado en el ensamble de un producto nuevo con la misma función; restaurar corresponde a tomar un producto obsoleto para actualizarlo y que siga siendo funcional; reparar se refiere a que cuando se tiene un producto defectuoso en lugar de desecharlo se repara para que este siga cumpliendo su función original; y por último, reusar se refiere a cuando un producto que sigue siendo funcional ya no es útil para un individuo, este puede proporcionárselo a otro para que pueda seguir dándole un uso (Kirchherr, Reike y Hekkert, 2017).

Por último, la acción general denominada como uso y fabricación de productos más inteligentes está compuesta por tres acciones específicas las cuales son reducir, repensar y rechazar. Reducir indica que los procesos de producción de mercancías deben de reducir la extracción de materia virgen; repensar significa hacer uso intensivo del producto para evitar que sea desechado luego de ser subutilizado; por último, en la economía circular se debe de rechazar producir un bien que cumpla una función que ya hace otro bien radicalmente diferente (Kirchherr, Reike y Hekkert, 2017).

Cabe resaltar que la economía circular establece una sistematización similar de la relación entre el sistema natural y el subsistema económico a la que hace la economía ambiental, pero la economía circular hace énfasis en la linealidad del subsistema económico, caracterizado por el “take-make-waste”, señalando su insostenibilidad. A partir de esto genera un sistema alternativo que pretende evitar la sobre extracción de recursos naturales vírgenes y el achicamiento del sistema natural debido a la expansión del subsistema económico y a la degradación provocada por los residuos de este.

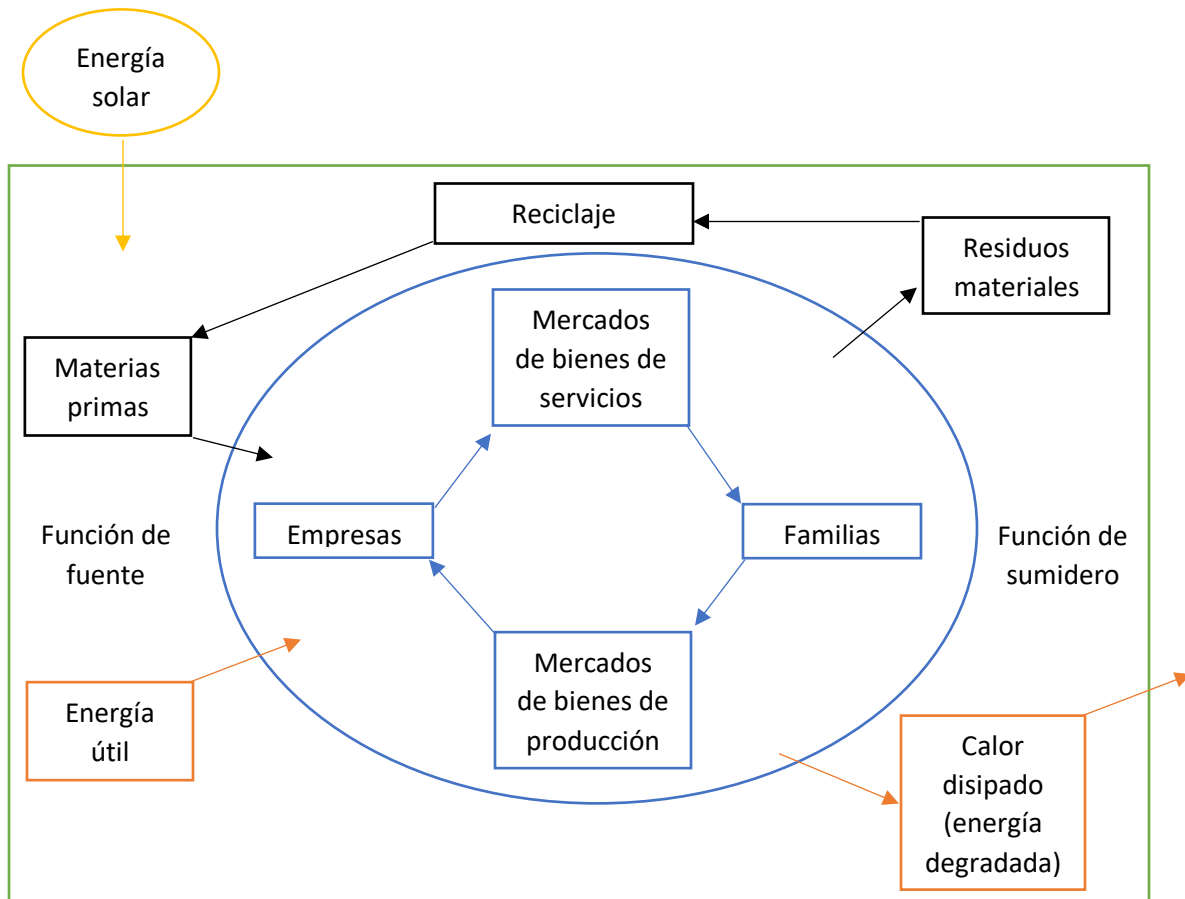
1.3.3.- La economía ecológica

La economía ecológica estudia las interacciones existentes entre el sistema natural y el subsistema económico (Common y Stagl, 2008). Al referirse a la economía ecológica es imposible no retomar a la economía ambiental, esto debido a que la primera retoma a la segunda (Martínez Alier y Roca Jusmet, 2006) y busca trascenderla a través del dialogo entre disciplinas, principalmente el resultante entre la economía y la ecología.

La economía ecológica plantea como punto inicial la existencia de un sistema natural, el cual mantiene entradas y salidas de energía con el universo. Este sistema está caracterizado por ser finito y por permitir la existencia del subsistema económico. Cabe resaltar que, a diferencia de la economía ambiental, la economía ecológica reconoce la capacidad del sistema natural para permitir la producción, para funcionar como receptor de residuos, para permitir la reproducción de la vida y para proporcionar servicios de disfrute al ser humano (Martínez Alier y Roca Jusmet, 2006).

Figura 1.13:

Sistematización de la economía ecológica



Tomado de Martínez Alier y Roca Jusmet (2006) y Costanza, Cumberland, Daly, Goodland y Norgaard (1999).

En la figura 1.13 se puede observar el sistema propuesto por la economía ecológica el cual guarda similitudes con el sistema de la economía ambiental, pero con la diferencia de que el sistema de la economía ecológica es más completo. Esto se debe a que la economía ecológica retoma algunos elementos de la economía convencional, pero busca trascender estos análisis a través de la incorporación del conocimiento generado en otras disciplinas, principalmente en la ecología.

El punto de partida de la sistematización que hace la economía ecológica es la suposición de la existencia del sistema planetario, el cual abarca a todo el planeta tierra, que mantiene flujos de entrada y salida de energía con el espacio exterior. Este sistema

planetario a la vez tiene en su interior un subsistema económico, con el cual mantiene intercambios de materia y energía.

El funcionamiento del sistema de la economía ecológica puede analizarse iniciando desde su función de fuente. Todo inicia con la entrada de energía proveniente del sol hacia el sistema planetario, esto proporciona una de las condiciones necesarias para la vida en el planeta, esto implica que existe dentro del sistema planetario materia y energía que pueden ser utilizadas para los procesos de producción de mercancías.

En el sistema propuesto por la economía ecológica se manifiesta de manera explícita que el subsistema económico necesita del sistema planetario para poder existir, debido a que este necesita que las empresas tomen la materia y la energía para poderlas transformar a través de los procesos de producción en mercancías las cuales son necesarias para satisfacer las necesidades de las familias, las cuales a su vez aportarán fuerza de trabajo en las fábricas para hacer posible los procesos de producción.

Tanto los procesos de extracción, producción y consumo dados en el subsistema económico generan, por un lado, residuos sólidos que pueden ser depositados en el sistema planetario en forma de descargas o bien después de ser sometidos a un proceso de reciclaje pueden reincorporarse a un proceso de producción; por otro lado, la energía que ingresa al subsistema económico se degrada con cada transformación que esta sufre, por lo tanto, una vez que esta sale de este es menos aprovechable.

Los flujos de materia que existen entre el sistema planetario y el subsistema económico obedecen a la ley de la conservación de la masa, la cual dicta que “en toda reacción química la masa se conserva” esta fue propuesta por Antoine Laurent Lavoisier quien fue químico, biólogo y economista (Castellano Estornell y Moreno Gálvez, 2019). En este sistema la ley de la conservación de la masa puede explicarse de la siguiente manera, si entra una cantidad x al subsistema económico y en este es transformada una serie de veces la misma cantidad x de materia saldrá del subsistema, aunque esta haya cambiado de forma. En otras palabras, la cantidad de materia en el sistema planetario no varía sin importar las veces que sea transformada.

En cuanto a los flujos de energía en el sistema, su comportamiento está sujeto a las dos primeras leyes de la termodinámica.

La primera ley es conocida como la ley de la conservación de la energía y esta dicta que la energía de la misma forma que la materia no se puede destruir, esta solo pasa por una serie de transformaciones, pero estas no reducen su cantidad. Cabe resaltar que para que la energía pueda ser transformada se necesita de trabajo, calor y energía (Common y Stagl, 2008). En el sistema propuesto por la economía ecológica la energía entra al sistema planetario en forma de energía solar, posteriormente, esta energía entra al subsistema económico y recibe una serie de transformaciones y al final cuando sale de este subsistema la cantidad que entró es igual a la cantidad que salió del sistema. Es importante destacar que, a pesar de la transformación que experimenta la energía tanto dentro del sistema planetario como en el subsistema económico, este proceso no afecta su cantidad. A pesar de lo mencionado anteriormente la cantidad de energía que contiene el sistema planetario no es la misma para todos los periodos de tiempo, esto debido a que este es un sistema con intercambios de energía con el universo. La única forma de que en un sistema se encuentre siempre la misma cantidad de energía es que este sea un sistema aislado.

Por otro lado, la segunda ley de la termodinámica la cual es conocida como la ley de entropía. Para explicar esta ley se partirá del supuesto de la existencia de un sistema aislado, es decir sin entradas ni salidas de materia ni de energía, este mantendrá un hipotético ecosistema.

Dentro de un sistema aislado la cantidad de materia y energía permanecen constantes, es decir no aumentan ni disminuyen. Esto debido a lo establecido en la primera ley de la termodinámica. Por otro lado, la segunda ley menciona que si bien la energía no se puede crear ni destruir solo se puede transformar, esta sufre de una degradación cuando existe una transformación.

Tomando en cuenta lo expuesto en el párrafo anterior, se puede afirmar que el consumo de energía supone una transformación en calor y trabajo, pero no una reducción de esta. En otras palabras, cada transformación no afectará la cantidad de energía, pero si lo hará su "calidad". Es importante señalar que a esta disminución de la calidad de la

energía se le conoce como aumento de la entropía y algunos autores señalan que el aumento de entropía se puede describir como un aumento en el desorden.

Se dice que la entropía es la medida del desorden debido a que la energía contenida en un objeto antes de una transformación lleva cierto orden, es decir la distancia entre átomos es pequeña y estos suelen moverse de manera constante, pero una vez que esta sufre una transformación, sus moléculas se calientan, lo que provoca que su temperatura aumente. Esto tiene como resultado que los átomos que lo componen aumenten su velocidad y que el movimiento constante de estos se pierda para dar paso a un comportamiento desordenado o aleatorio (Common & Stagl, 2008).

Que la energía se degrade o que exista mayor desorden en la masa de los objetos tiene implicaciones negativas en un sistema, debido a que esto puede traducirse como una pérdida de la capacidad de volverse a transformar. Es decir, entre más transformaciones haya sufrido un objeto más difícil será transformarlo de nuevo, debido a que la energía útil será cada vez menor.

Regresando al hipotético sistema aislado propuesto hace algunos párrafos, este siempre tendrá la misma cantidad de materia y energía, pero esta segunda tenderá irremediablemente a una constante degradación hasta el punto que provoque la insostenibilidad del sistema. En otras palabras, en un sistema aislado las inevitables transformaciones conducirán a un paulatino crecimiento de la entropía hasta que se llegue a la muerte entrópica del sistema.

Regresando al sistema planteado por la economía ecológica, si bien la entropía está presente en este sistema no se ha llegado a la muerte entrópica debido al flujo continuo de energía proveniente del sol que entra al sistema. Lo anterior no quiere decir que la falta de energía útil no sea un problema para este sistema, por el contrario, la energía útil del sistema dependerá de la cantidad de energía que entra al sistema y la velocidad con la que crece la entropía de este.

Si bien la entropía en el sistema se daría incluso sin la existencia del ser humano, en las últimas décadas el ser humano se ha encargado de incrementarla de manera

considerable, debido a las formas de producción y consumo desarrolladas bajo el modo de producción dominante.

Por todo lo anterior, la economía ecológica descarta la tesis del crecimiento infinito de la actividad económica, señalando que el crecimiento económico no puede ser infinito debido a que la energía utilizable en el sistema planetario es finita. Por lo tanto, los límites del crecimiento están indudablemente marcados por factores físicos, principalmente por la cantidad de energía útil y por el nivel de entropía existente en el sistema planetario.

1.4.- Definición del sistema hipotético

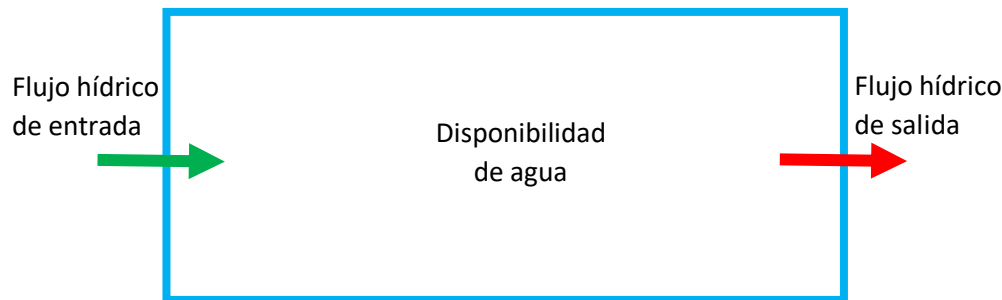
Tomando como base todo lo desarrollado anteriormente, a continuación, se elabora una sistematización hipotética que permitirá analizar la problemática compleja que aborda esta investigación. El primer paso consiste en la delimitación del sistema natural.

En las corrientes de la economía ambiental, la economía circular y la economía ecológica se establece un sistema natural que permite la existencia de un subsistema económico. El sistema natural abarca a todo el planeta tierra, dentro de este se desarrolla una compleja interrelación de los ecosistemas y todos sus elementos.

Si bien para entender la realidad compleja se deberían de analizar cada una de las relaciones, en esta investigación se debe de hacer una delimitación, la cual se centrará en la problemática de la falta de disponibilidad de agua. Por lo tanto, a la hora de establecer el sistema se tomarán en cuenta solo los flujos hídricos.

Figura 1.14:

Definición del sistema hipotético



Elaboración propia.

En este capítulo de la investigación, la construcción del sistema hipotético tendrá una forma hipotética como la mostrada en la figura 1.14, en donde se muestra de manera simplificada que la disponibilidad de agua, es decir, el agua disponible es el sistema que permite la reproducción de la vida de todos los seres vivos y la existencia del subsistema económico.

El tamaño del sistema dependerá de manera positiva del ingreso de flujos hídricos y de manera negativa con la salida de estos, es decir, si la cantidad de agua que recibe el sistema es mayor que la cantidad de salida, este tenderá a experimentar una expansión; caso contrario, si la cantidad de salida es mayor que la cantidad de agua que entra al sistema este estaría experimentando una contracción.

El funcionamiento de este sistema hipotético se basa en el entendimiento del funcionamiento del ciclo del agua. El cual puede, para fines didácticos, dividirse en cinco etapas generales (Universidad Autónoma de México (UNAM), 2023).

Se iniciará por explicar la etapa de evaporación. La cual consiste en el proceso de calentamiento de cuerpos de agua tanto marinos como terrestres por la energía proveniente del sol que entra al planeta tierra. Esto provoca que estos cuerpos de agua se evaporen.

La siguiente etapa es conocida como condensación y se conecta con la anterior. Esta ocurre cuando el agua es evaporada por el sol, esta acción tiene como consecuencia que el agua se condense en forma de gotas, lo que trae como consecuencia la formación de nubes.

La siguiente etapa corresponde a la precipitación la cual consiste en la caída de agua de las nubes hacia los cuerpos de agua, mientras una parte del agua cae sobre los cuerpos de agua marinos, otra cae en la superficie del planeta en donde se encausa hacia cuerpos de agua superficiales y subterráneos que desembocan en cuerpos marinos.

La siguiente etapa se centra en el agua que una vez precipitada cruza la superficie terrestre y es absorbida por diferentes organismos los cuales a través de un proceso metabólico la devuelven a la atmosfera. Esta etapa es conocida como transpiración.

Por último, existe la etapa de escurrimiento la cual consiste en que parte del agua superficial se infiltra hacia el subsuelo donde genera corrientes y cuerpos de agua subterráneos, parte de esta agua consecuentemente regresa a la superficie en forma de manantiales.

Con base en lo anterior, se puede asegurar que el agua no es estática y que su ciclo es más bien dinámico. Es por esto que se suponen entradas y salidas hídricas en el sistema planteado anteriormente.

Por último, se puede observar que el sistema hipotético planteado en la figura 1.14 toma como base el sistema propuesto por la economía ecológica en la figura 1.12, pero se remplazaron las entradas y salidas de los flujos de energía en el sistema, por flujos de entradas y salida de agua

1.5.- Definición del subsistema económico hipotético

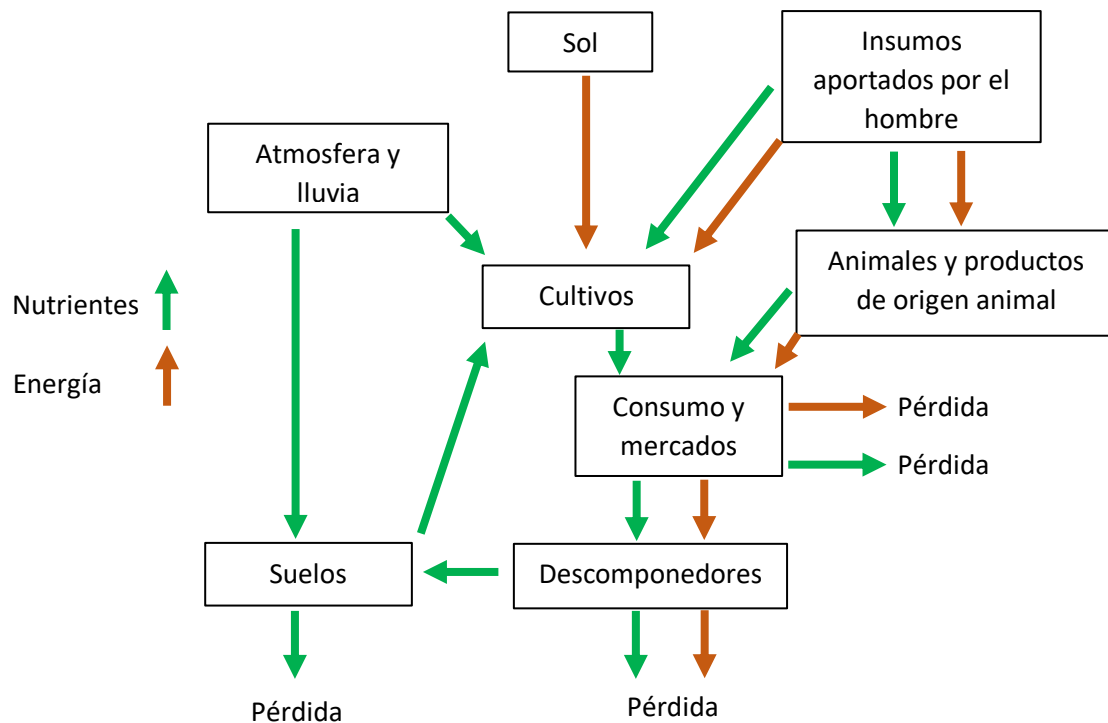
Una vez definido cuál será el sistema natural, se procede a crear una delimitación del subsistema económico. El cual deberá de estar contenido dentro del sistema hídrico anteriormente propuesto.

Si bien el subsistema económico podría delimitarse en muchas actividades económicas, en el caso de esta investigación será acotado únicamente a la agricultura. Por lo tanto, se tratará de un subsistema agrícola. Esto se hace debido a la naturaleza del tema de investigación.

Para elaborar el subsistema agrícola se necesita tomar como base la sistematización de los agrosistemas (figura 1.16). Los cuales pueden ser considerados delimitaciones del subsistema económico.

Figura 1.15:

Agrosistema



Tomado de Gliessman (2002).

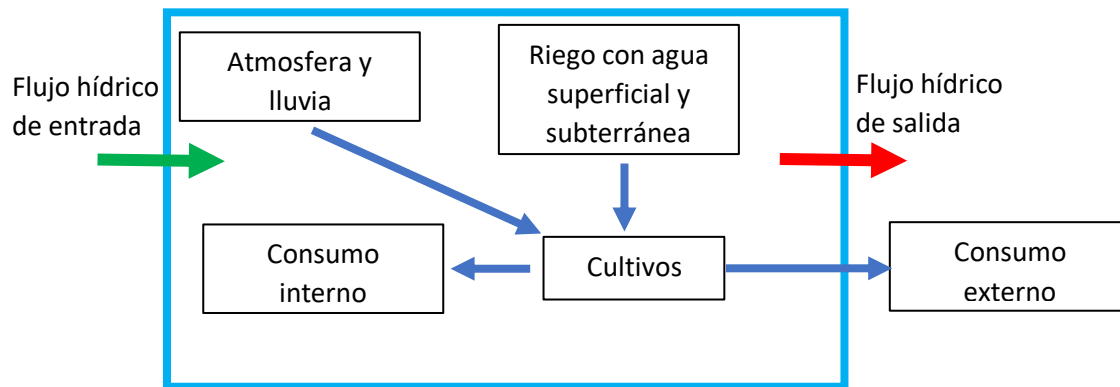
En la figura 1.15 se puede observar cómo se establece una sistematización de una delimitación del subsistema económico. En esta se delimitó y sistematizó el funcionamiento de un agrosistema, el cual mantiene intercambios de nutrientes y energía con el sistema natural.

Para el planteamiento del subsistema de esta investigación se intentó delimitar aún más este subsistema planteado en la figura 1.15 de forma que solo se tomaron en cuenta las actividades agrícolas.

Para plantear el subsistema hipotético de esta investigación se necesita establecer, por lo menos, de manera general la estructura productiva existente. Debido a que esta suele cambiar dependiendo del contexto histórico y económico del área de estudio. En esta investigación solo se establecerá de forma hipotética (figura 1.16).

Figura 1.16:

Forma hipotética del sistema de investigación



Elaboración propia.

Tomando en cuenta el sistema agroalimentario expuesto en la figura 1.14 y el sistema hipotético para esta investigación planteado en la figura 1.15 se desarrolló un sistema hipotético en la figura 1.16. El cual servirá como base para el desarrollo de un sistema más específico que se ajuste al contexto vivido en el estado de Michoacán.

En la figura 1.16 se puede observar que los cultivos se abastecen de agua a través del riego y de la proveniente de la lluvia, los cultivos a su vez son consumidos tanto dentro del espacio geográfico donde se ubica el sistema propuesto como fuera de este.

1.6.- Flujos hídricos del sistema propuesto

Este subapartado busca brindar una base teórica al comportamiento de los flujos hídricos en el sistema propuesto en la figura 1.16. Para esto se utilizaron los planteamientos de los indicadores de agua virtual y huella hídrica.

El indicador de agua virtual trata de medir la cantidad de agua utilizada en todo el proceso de producción de una mercancía. Cabe resaltar que algunas mercancías suelen almacenar parte del agua utilizada en sus procesos de producción, a esto se le conoce como agua contenida (Velázquez, 2010) y (Fernández Grecco, 2013).

Existen dos elementos cruciales del indicador de agua virtual que pueden ayudar a definir el comportamiento de los flujos hídricos en el sistema. El primero tiene que ver con la producción, como se mencionó en el párrafo anterior este indicador permite conocer la cantidad de agua utilizada para producir una mercancía; el segundo es aún más importante para el sistema planteado ya que este hace referencia al comercio, es decir si se estableció anteriormente que las mercancías contienen agua entonces dentro del comercio se tienen importaciones y exportaciones de agua.

Tomando en cuenta lo expuesto en la figura 1.16, se puede afirmar con el respaldo de la base teórica del indicador de agua virtual que la producción agrícola tiene un consumo de agua determinado y que los cultivos almacenan cierta cantidad de agua. Por lo tanto, una exportación de cultivos fuera de la limitación espacial del sistema propuesto, puede traducirse como un flujo hídrico de salida.

Por otro lado, la huella hídrica es capaz de cuantificar la cantidad de agua directa e indirecta que se necesita para producir una mercancía, que se necesita para operar una empresa, que consume todo un sector de económico o incluso el que se consume

en un territorio específico (Hogeboom, 2020). Este indicador está compuesto a la vez por tres tipos de huellas (Seguí Amórtégui, García Vega y Guerrero García Rojas, 2016).

Huella hídrica azul, la cual está determinada por la cantidad de agua subterránea y superficial extraída que no vuelve al mismo cuerpo de agua.

Huella hídrica verde, la cual consiste en el volumen de agua evaporado o incorporado a una mercancía durante su proceso de producción.

Huella hídrica gris, la cual indica la contaminación de agua dulce derivada de un proceso de producción y de la cadena de suministro de una mercancía. Ésta se define como la cantidad de agua dulce que se necesita para diluir ciertos contaminantes hasta alcanzar niveles aceptados por regulaciones institucionales de la calidad de agua.

La relevancia de comprender el indicador de la huella hídrica en el contexto de la sistematización planteada en la figura 1.16 reside en la revelación de que, durante la producción de mercancías, el agua empleada no necesariamente regresa al lugar de extracción, sino que una porción de esta queda incorporada en el producto final el cual puede comerciarse fuera de los límites del sistema hídrico planteado.

1.7.- Las relaciones de dominación, el motor del sistema

Anteriormente se planteó de manera genérica un sistema hídrico que alberga y permite la existencia de un subsistema agrícola, con el cual mantiene intercambios de flujos hídricos. Ahora en este subapartado, se buscará comprender qué es lo que determina el ritmo con el cual el subsistema agrícola consume y expulsa agua.

Las particularidades de la producción agrícola en un área geográfica en la actualidad están determinadas por la división internacional del trabajo. A su vez, las relaciones de dominación que ejercen unos estados-nación sobre otros determina la división internacional del trabajo.

Para observar las relaciones de dominación dentro del capitalismo global actualmente existente, se utilizó como base la teoría de la dependencia. Esta señala en

primera instancia la existencia de una relación de dominación entre los países dominantes y dependientes.

Los países dominantes son aquellos países los cuales centran su producción industrial de mercancías, principalmente en productos manufacturados. Utilizando algunos conceptos de la tradición marxiana, estas mercancías tienen menor valor, debido a la composición orgánica de capital típica de los procesos industriales, los cuales tienen una mayor cantidad de capital fijo. Lo anterior no significa que los capitalistas de estos países se apropien de una menor cantidad de valor, ya que el incremento de la productividad trae consigo un aumento en la plusvalía relativa (Marini y Sader, 1977).

Por otro lado, los países dominados también conocidos como países dependientes se caracterizan por extraer y exportar materias primas, las cuales son comerciadas con los países dominantes; la producción de estas por el contrario rara vez tienen una mayor cantidad de capital fijo que el sector industrial, por lo tanto, su composición orgánica de capital esta mayormente conformada por capital variable, por lo que el contenido en valor es mayor que el que presentan las mercancías producidas con grandes cantidades de capital fijo. Cabe resaltar que el crecimiento económico de estos países está fuertemente ligado a la exportación de materias primas.

La interdependencia entre estos dos tipos de países radica en que el crecimiento económico de los países dominantes depende de la producción industrial, la cual a su vez depende de materias primas y alimentos para la clase obrera. En este momento entran los países dependientes que mediante el comercio internacional intercambian productos manufacturados provenientes de países dominantes por las materias primas necesarias sostener la producción industrial de los países dominantes. En este escenario si la producción industrial de los países dominantes aumenta, lo hará también la exportación de materias primas por parte de los países dependientes.

Con lo anterior se puede identificar la creación de una división de trabajo internacional, en la cual tanto los países dominantes como los países dependientes cumplen papeles que dan forma a las relaciones comerciales globales. En otras palabras, en el capitalismo global la oferta de los países dependientes está sujeta a la demanda de los países dominantes.

La teoría de la dependencia busca dar una explicación de este fenómeno a través de algunos conceptos presentes en la tradición marxiana.

Se reconoce el complejo análisis que hace la teoría de la dependencia a la hora de explicar la relación anteriormente descrita, pero en esta investigación se buscará sintetizar todo el análisis de tal forma que sea suficiente para la incorporación a este marco teórico.

Primero, se debe tener en cuenta que tanto los países dominantes como los países dependientes tienen una composición orgánica de capital distinta. En los países dominantes la producción industrial tiende a tener mayor capital fijo que capital variable, por otro lado, en los países dependientes la producción y extracción de materias primas tienden a tender menor capital fijo en relación con su capital variable. Lo anterior significa que la producción industrial de los países dominantes contiene menor valor que la producción y extracción de materias primas de los países dependientes (Marini y Sader, 1977).

Teniendo en cuenta lo anterior, se debe considerar que la composición orgánica de capital presente en los países dominantes es insostenible. Esto debido a que un constante crecimiento en la productividad provocado por incrementos en el capital fijo tiene como consecuencia una menor cantidad de plusvalor apropiado por el capitalista, esto tiene como resultado a su vez una caída en la tasa de ganancia.

Cabe resaltar que esto no sucede en el capitalismo actual. La teoría de la dependencia señala que esto no ocurre debido a la competencia entre capitales.

Si bien comúnmente se cree que solo existe explotación de la clase burguesa hacia la clase proletariada, esto no es correcto, la explotación se puede dar entre burgueses tanto del mismo sector productivo, como entre diferentes sectores productivos. A lo anterior se le conoce como explotación vertical y horizontal, la primera se refiere a la explotación que el capitalista ejerce sobre el obrero, mientras que la segunda ocurre cuando un capitalista se apropia del plusvalor obtenido por otro capitalista, es decir, se trata de una explotación entre capitalistas.

La competencia entre capitalistas del mismo sector aparece cuando dos o más capitalistas producen una misma mercancía cada uno con una composición orgánica de capital diferente (Dussel, 2014). El capitalista que produzca con una composición orgánica de capital con mayor capital fijo, recibirá una transferencia de plusvalor de los capitalistas que producen con una composición orgánica de capital con menor capital fijo. En consecuencia, se puede intuir que los capitalistas buscarán producir la mercancía con el menor valor posible.

La transferencia de plusvalor se da de la siguiente forma, los capitalistas que produzcan la mercancía con una productividad mayor a la media serán recompensados con una transferencia de plusvalía proveniente de aquellos capitalistas que producen con una productividad inferior a la media.

Lo anterior no quiere decir que los capitalistas que producen con una productividad por debajo de la media no obtengan beneficios. Estos podrán seguir apropiándose de plusvalor, aunque tengan que transferir parte de este a los capitalistas que producen con mayor capital fijo. Por otro lado, los capitalistas que producen con mayor capital fijo recibirán una cantidad de plusvalor extraordinaria.

En el caso de la competencia entre sectores productivos funciona de la misma manera, aquellos sectores que produzcan mercancías con menor valor, es decir, con una composición orgánica de capital alta en capital fijo, se verán recompensados con una transferencia de plusvalor proveniente de aquellos sectores productivos que presentan una composición orgánica de capital con menor capital fijo.

Dentro de la teoría de la dependencia la competencia se da entre capitalistas de países dominantes y países dependientes, donde los países dominantes mantienen diversos sectores productivos que tienen una composición orgánica de capital con alta presencia de capital fijo, lo que les permite dominar el mercado internacional. Por otro lado, los países dependientes están sometidos a los intereses comerciales de los países dominantes debido a que la composición orgánica de capital con la cual cuentan sus sectores productivos está compuesta principalmente por capital variable. Lo anterior tiene como resultado una transferencia de plusvalor desde los países dependientes hacia los países dominantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede inferir que los países dominantes ejercen explotación vertical hacia los obreros que viven en los países dominantes y explotación horizontal hacia los capitalistas de países dependientes. Por otro lado, los capitalistas de los países dependientes ejercen explotación vertical hacia los obreros de países dependientes. Los capitalistas dominantes reciben plusvalor de la explotación horizontal y vertical, mientras que los capitalistas de los países dependientes reciben plusvalor de la explotación vertical, para posteriormente transferir parte de este a los capitalistas de los países dominantes.

Los capitalistas de países dependientes que transfieren plusvalor, pueden tratar de compensar esta pérdida mediante una superexplotación al trabajador, esto con el fin de incrementar el plusvalor apropiado. La superexplotación que sufre el obrero de estos países puede darse a través de aumentos en su jornada de trabajo, en la intensidad del trabajo o en una compresión salarial (Gutiérrez de la Garza y González Gaudiano, 2010).

Con todo lo desarrollado en este apartado, se puede afirmar que los elementos presentes en el sistema planteado en la figura 1.16 como lo son la producción, la distribución y el consumo interno están determinados por el papel que cada país desempeña dentro de la dinámica del capitalismo global. Por lo tanto, factores como el volumen y el ritmo de los flujos hídricos planteados en la sistematización, dependerán del papel que juega el espacio geográfico a analizar en las dinámicas de dominación globales y nacionales.

Capítulo 2.- Métodos para revelar los impactos de la agricultura en Michoacán sobre la falta de disponibilidad de agua

El propósito de este capítulo es explicar y desarrollar los métodos empleados en la investigación para abordar los impactos de la agricultura en Michoacán sobre la falta de disponibilidad de agua. Como se mencionó anteriormente, la falta de disponibilidad de agua ocurre cuando el consumo supera la recarga.

Por lo tanto, en este capítulo se explican los métodos utilizados para analizar el consumo de agua agrícola en Michoacán, así como los métodos para examinar cómo la agricultura afecta las condiciones naturales que influyen de forma negativa en la recarga de agua en el estado.

Para analizar el consumo de agua agrícola en Michoacán se emplearon los métodos del análisis multicriterio a través del algoritmo de Saaty y el método de la regresión. Por otro lado, en los métodos para examinar cómo la agricultura afecta las condiciones naturales que influyen en la recarga de agua se utilizaron los métodos del índice de Moran y la matriz de cambio de uso de suelo.

El algoritmo de Saaty permite una evaluación multicriterio, donde se ven involucradas una serie de alternativas las cuales son evaluadas con respecto a una serie de criterios predefinidos. En esta investigación el uso de este método permite evaluar los distintos cultivos producidos en Michoacán con una serie de criterios con el fin de conocer cuál es el más relevante de analizar dentro del contexto de esta investigación. Es por esto que en este capítulo se detalla como elaborar este método, desde la evaluación de las alternativas y criterios hasta la obtención del vector que contiene los resultados del análisis multicriterio.

Posteriormente, se debe de realizar una regresión donde la variable explicada sea el volumen de extracción de agua de uso agrícola y la variable explicativa sea la superficie sembrada con ese cultivo. Esto con el fin de estimar el consumo de agua de este. Debido a lo anterior, en este capítulo se exponen los aspectos básicos de la regresión y se muestran las pruebas de normalidad, multicolinealidad, heteroscedasticidad y

autocorrelación que deben aplicarse para confirmar la confiabilidad de los resultados obtenidos mediante la regresión.

En este capítulo también se buscará comprobar si la distribución espacial de la agricultura en el estado de Michoacán se da de manera aleatoria o si, por el contrario, existe alguna variable hídrica que influya sobre su distribución espacial. Para esto se buscará probar la existencia de autocorrelación espacial en el territorio. La presencia o ausencia de autocorrelación espacial se evaluará mediante el método del índice de Moran. Teniendo esto en cuenta, en este capítulo se describen los aspectos básicos de este método y se explica cómo interpretar los resultados obtenidos.

Por último, se analizará el impacto que la agricultura ha tenido en las zonas boscosas, las cuales desempeñan un papel fundamental en la recarga de agua en Michoacán. Para ello, se utilizará el método de la matriz de cambio de uso de suelo. En este capítulo, se detalla paso a paso cómo llevar a cabo este análisis e interpretar sus resultados.

2.1.- Análisis multicriterio a través del Algoritmo de Saaty

Una vez analizado el comportamiento histórico de la agricultura en Michoacán, resulta fundamental determinar cuál de los cultivos desempeña el papel más relevante en esta investigación. Para lograrlo, se puede emplear un análisis multicriterio basado en el algoritmo de Saaty. Este método permite evaluar y asignar el nivel de importancia a cada cultivo producido en Michoacán, en función de los múltiples criterios establecidos de acuerdo con la presente investigación (Herrera Torres, 2022).

Este método se compone de dos elementos principales: las variables o alternativas (A) y los criterios (C). El primer paso consiste en evaluar cada una de las alternativas con respecto a cada uno de los criterios seleccionados. Para llevar a cabo esta evaluación, se utiliza una escala numérica definida en el intervalo [1,9], donde 1 representa la importancia más alta y 9 la importancia más baja.

Para ejemplificar lo anterior, se considera la existencia de dos conjuntos: por un lado, el conjunto A, compuesto por los elementos A1, A2 y A3, que representan las diferentes alternativas; por otro lado, el conjunto C, que incluye los elementos C1, C2 y C3, los cuales representan los distintos criterios.

2.1.1.- Evaluación de las alternativas

Después de la creación de estos conjuntos, es necesario evaluar cada una de las alternativas según su importancia dentro de cada uno de los criterios. Durante esta evaluación, se asignará un número dentro del intervalo [1,9]. Un número menor indicará que la alternativa es muy importante dentro del criterio evaluado, mientras que un número mayor señalará que la alternativa es menos relevante dentro del mismo criterio. (figura 2.1).

Las evaluaciones deben ser contrastadas entre sí mismas. Por lo tanto, se debe de calcular la diferencia de cada una de las combinaciones de alternativas. Por ejemplo, en el caso planteado anteriormente, se restará A1 menos A1, A1 menos A2, y A1 menos A3; de manera similar se realizará con las combinaciones de A2 y A3. Este procedimiento se deberá de realizar con cada uno de los criterios (figura 2.1).

Figura 2.1:

Ponderación de las alternativas

Criterio C1		
A1-A1	A2-A1	A3-A1
A1-A2	A2-A2	A3-A2
A1-A3	A2-A3	A3-A3

Alternativa	Ponderación
A1	[1,9]
A2	[1,9]
A3	[1,9]

Criterio C2		
A1-A2	A2-A1	A3-A1
A1-A2	A2-A2	A3-A2
A1-A3	A2-A3	A3-A3

Alternativa	Ponderación
A1	[1,9]
A2	[1,9]
A3	[1,9]

Criterio C3		
A1-A2	A2-A1	A3-A1

Alternativa	Ponderación
A1	[1,9]

A1-A2	A2-A2	A3-A2
A1-A3	A2-A3	A3-A3

A2	[1,9]
A3	[1,9]

Elaboración propia.

Los resultados de las contrastaciones de alternativas realizadas en cada uno de los criterios deben ser registrados en una matriz por criterio. Estas matrices deben ser igual al número de criterios propuestos, cuadradas, y su tamaño dependerá del número de alternativas a analizar. Además, deberán presentar las características de una matriz de identidad. En el caso de este ejemplo, las matrices serán de tamaño 3x3.

Antes de verter los resultados a la matriz, se debe tener en cuenta que, si el resultado obtenido al contrastar dos alternativas es menor que 0, entonces se deberá multiplicar por -1 y posteriormente sumarle una unidad. Por otro lado, si el resultado es igual a 0, se le sumará una unidad. Finalmente, si el resultado obtenido al contrastar dos alternativas es mayor que 0, se le sumará una unidad y luego se dividirá una unidad entre el resultado. En otras palabras:

Si $A_n - A_n = 0$

Entonces: $0+1=1$

Por lo tanto, se coloca en la matriz identidad: $A_n - A_n = 1$

En otro caso:

Si $A_n - A_n > 0$

Entonces: $(A_n - A_n)+1= n+1$

Posteriormente: $1/(n+1)$

Por lo tanto, se coloca en la matriz identidad: $A_n - A_n = 1/(n+1)$

En el último caso posible:

Si $A_n - A_n < 0$

Entonces: $(A_n - A_n)^*-1= (n)^*-1$

Posteriormente: $[(n)^*-1]+1$

Por lo tanto, se coloca en la matriz identidad: $A_n - A_n = [(n)^*-1]+1$

Este procedimiento permitirá la elaboración de las matrices de identidad de las alternativas. Para este ejemplo, se requerirán 3 matrices de tamaño 3x3, donde la diagonal principal estará compuesta por valores uno.

Figura 2.2:

Matrices identidad de las alternativas

Criterio C1		
1	A2-A1	A3-A1
A1-A2	1	A3-A2
A1-A3	A2-A3	1

Criterio C2		
1	A2-A1	A3-A1
A1-A2	1	A3-A2
A1-A3	A2-A3	1

Criterio C3		
1	A2-A1	A3-A1
A1-A2	1	A3-A2
A1-A3	A2-A3	1

Elaboración propia.

Con estos resultados, se procede a la elaboración de un vector de relevancia para cada una de las matrices de identidad (figura 2.3). Cada uno de estos vectores reflejará la relevancia que tiene cada una de las alternativas dentro del criterio analizado.

Figura 2.3:

Vectores de relevancia de alternativas

<table><tr><th>Criterio C1</th></tr><tr><td>$[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}$</td></tr><tr><td>$[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}$</td></tr><tr><td>$[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}$</td></tr><tr><td>$\Sigma = X$</td></tr></table>	Criterio C1	$[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}$	$[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}$	$[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}$	$\Sigma = X$	<table><tr><th>Criterio C1</th></tr><tr><td>$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma$</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma$</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 1$</td></tr></table>	Criterio C1	$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma$	$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma$	$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma$	$\Sigma = 1$	<table><tr><th>Criterio C1</th><td></td></tr><tr><td>$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$</td><td>A1</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$</td><td>A2</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma * 100$</td><td>A3</td></tr><tr><td>$\Sigma = 100$</td><td></td></tr></table>	Criterio C1		$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A1	$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A2	$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A3	$\Sigma = 100$	
Criterio C1																						
$[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}$																						
$[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}$																						
$[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}$																						
$\Sigma = X$																						
Criterio C1																						
$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma$																						
$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma$																						
$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma$																						
$\Sigma = 1$																						
Criterio C1																						
$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A1																					
$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A2																					
$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A3																					
$\Sigma = 100$																						
<table><tr><th>Criterio C2</th></tr><tr><td>$[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}$</td></tr><tr><td>$[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}$</td></tr><tr><td>$[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}$</td></tr><tr><td>$\Sigma = X$</td></tr></table>	Criterio C2	$[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}$	$[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}$	$[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}$	$\Sigma = X$	<table><tr><th>Criterio C2</th></tr><tr><td>$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma$</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma$</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 1$</td></tr></table>	Criterio C2	$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma$	$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma$	$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma$	$\Sigma = 1$	<table><tr><th>Criterio C2</th><td></td></tr><tr><td>$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$</td><td>A1</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$</td><td>A2</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma * 100$</td><td>A3</td></tr><tr><td>$\Sigma = 100$</td><td></td></tr></table>	Criterio C2		$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A1	$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A2	$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A3	$\Sigma = 100$	
Criterio C2																						
$[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}$																						
$[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}$																						
$[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}$																						
$\Sigma = X$																						
Criterio C2																						
$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma$																						
$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma$																						
$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma$																						
$\Sigma = 1$																						
Criterio C2																						
$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A1																					
$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A2																					
$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A3																					
$\Sigma = 100$																						
<table><tr><th>Criterio C3</th></tr><tr><td>$[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}$</td></tr><tr><td>$[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}$</td></tr><tr><td>$[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}$</td></tr><tr><td>$\Sigma = X$</td></tr></table>	Criterio C3	$[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}$	$[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}$	$[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}$	$\Sigma = X$	<table><tr><th>Criterio C3</th></tr><tr><td>$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma$</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma$</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 1$</td></tr></table>	Criterio C3	$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma$	$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma$	$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma$	$\Sigma = 1$	<table><tr><th>Criterio C3</th><td></td></tr><tr><td>$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$</td><td>A1</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$</td><td>A2</td></tr><tr><td>$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma * 100$</td><td>A3</td></tr><tr><td>$\Sigma = 100$</td><td></td></tr></table>	Criterio C3		$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A1	$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A2	$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A3	$\Sigma = 100$	
Criterio C3																						
$[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}$																						
$[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}$																						
$[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}$																						
$\Sigma = X$																						
Criterio C3																						
$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma$																						
$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma$																						
$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma$																						
$\Sigma = 1$																						
Criterio C3																						
$\{[1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A1																					
$\{[(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A2																					
$\{[(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{1/3}\}/\Sigma * 100$	A3																					
$\Sigma = 100$																						

Elaboración propia.

En el caso planteado en este ejemplo, se transformarán las tres matrices planteadas en la figura 2.2 a tres vectores de tamaño 3x1.

Para realizar este procedimiento, primero se multiplica cada uno de los elementos correspondientes a las columnas de la matriz y luego se eleva cada resultado a uno dividido entre el número de columnas que conforman la matriz. En este caso, se multiplicaron los tres elementos de la columna y se elevaron a un tercio, debido a que hay tres elementos. Con esto se obtiene un vector del cual se debe de calcular la suma de sus filas. Este procedimiento está detallado en los vectores de la izquierda de la figura 2.3.

Luego, se divide cada uno de los valores del vector obtenido anteriormente entre la suma de todo el vector. Este procedimiento se ejemplifica en las tablas centrales de la figura 2.3. La suma de este nuevo vector siempre debe ser igual a uno.

Finalmente, el valor del vector central se debe de multiplicar por cien para obtener el vector de relevancia de las alternativas. Este vector revelará la importancia de cada alternativa dentro del contexto de cada uno de los criterios. La suma de este vector

siempre será igual a cien. Este está ejemplificado en los vectores de la derecha de la figura 2.3.

Cabe resaltar, que este procedimiento debe elaborarse para cada uno de los criterios propuestos. Dado que este ejemplo cuenta con tres criterios hipotéticos, la figura 2.3 representa las fórmulas necesarias para construir los vectores correspondientes a tres alternativas (A) y tres criterios (C).

2.1.2.- Evaluación de los criterios

Una vez obtenidos los vectores de relevancia de las alternativas, se procede a calcular un vector de relevancia para cada uno de los criterios. El procedimiento es similar al anterior. Primero se asigna la importancia de cada uno de los criterios de evaluación con respecto al propósito de la investigación.

A cada criterio se le asigna un número dentro del intervalo [1,9], donde el extremo inferior (1) representa la máxima relevancia y el extremo superior (9) se asigna a criterios con relevancia mínima.

Figura 2.4:

Ponderación de los criterios

Criterios		
C1-C1	C2-C1	C3-C1
C1-C2	C2-C2	C3-C2
C1-C3	C2-C3	C3-C3

Elaboración propia.

Criterios	Ponderación
C1	[1,9]
C2	[1,9]
C3	[1,9]

Una vez asignada la ponderación a los criterios, estos deben contrastarse de la misma manera que se hizo con las alternativas. En la figura 2.4 se puede observar este proceso en el caso hipotético planteado anteriormente.

Con los datos obtenidos de la contrastación de criterios, se calcula la matriz de identidad de los criterios, la cual se construirá bajo las mismas reglas que se utilizaron para construir la matriz identidad de las alternativas. Por lo tanto:

Si $C_n - C_n = 0$

Entonces: $0+1=1$

Por lo tanto, se coloca en la matriz identidad: $C_n - C_n = 1$

En otro caso:

Si $C_n - C_n > 0$

Entonces: $(C_n - C_n) + 1 = n+1$

Posteriormente: $1/(n+1)$

Por lo tanto, se coloca en la matriz identidad: $C_n - C_n = 1/(n+1)$

En el último caso posible:

Si $C_n - C_n < 0$

Entonces: $(C_n - C_n) * -1 = (n)^*-1$

Posteriormente: $[(n)^*-1]+1$

Por lo tanto, se coloca en la matriz identidad: $C_n - C_n = [(n)^*-1]+1$

A partir de lo anterior, se construirá una matriz identidad que permita observar la dominancia de la importancia de unos criterios frente a otros.

Figura 2.5:

Matriz identidad de los criterios

Criterios		
1	C2-C1	C3-C1
C1-C2	1	C3-C2
C1-C3	C2-C3	1

Elaboración propia.

En todos los casos sin importar el número de criterios a evaluar el resultado será una matriz que cumpla con las características de una matriz identidad. En el caso planteado se analizaron tres criterios, por lo tanto, la matriz resultante será de un tamaño

3x3 y con una diagonal principal compuesta por tres elementos con valor igual a uno (figura 2.5).

Con los valores obtenidos en la matriz de identidad se procede a calcular un vector de relevancia de los criterios (Figura 2.6). Este refleja la relevancia de cada uno de los criterios para la investigación en términos porcentuales.

Figura 2.6:

Vector de relevancia de los criterios

Criterios	Criterios	Criterios
$[1*(C2-C1)*(C3-C1)]^{1/3}$	$\{[1*(C2-C1)*(C3-C1)]^{1/3}\}/\Sigma$	$\{[1*(C2-C1)*(C3-C1)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$
$[(C1-C2)*1*(C3-C2)]^{1/3}$	$\{[(C1-C2)*1*(C3-C2)]^{1/3}\}/\Sigma$	$\{[(C1-C2)*1*(C3-C2)]^{1/3}\}/\Sigma * 100$
$[(C1-C3)*(C2-C3)*1]^{1/3}$	$\{[(C1-C3)*(C2-C3)*1]^{1/3}\}/\Sigma$	$\{[(C1-C3)*(C2-C3)*1]^{1/3}\}/\Sigma * 100$
$\Sigma = X$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 100$

Elaboración propia.

La construcción del vector de relevancia comienza multiplicando cada uno de los elementos presentes en las columnas de la matriz identidad de los criterios, para posteriormente elevarlos a uno entre el número de columnas presentes en la matriz identidad. Una vez calculados los valores de este vector se deben de sumar. En la figura 2.6 el vector de la izquierda muestra el proceso teniendo en cuenta las características de la matriz identidad presentada en la figura 2.5.

Posteriormente, se deben de dividir cada uno de los valores del vector entre la suma de estos, al sumar estos nuevos valores el resultado tendrá que forzosamente ser igual a uno. Este proceso está ejemplificado en el vector central de la figura 2.6.

Por último, se debe de multiplicar el valor obtenido anteriormente por cien para de esta manera observar el peso porcentual de cada uno de los criterios elegidos. Este proceso está detallado en el vector de la derecha en la figura 2.6. Este vector será el vector de relevancia de los criterios.

2.1.3.- Análisis multicriterio

Con los vectores obtenidos anteriormente, se procede a calcular otro vector que revelará, a través de un análisis multicriterio, cuáles son las alternativas con mayor peso.

Para esto, primero se crea una matriz de relevancia de las alternativas, la cual está compuesta por los vectores de relevancia de las alternativas. En el caso del ejemplo hipotético planteado, donde existen tres alternativas y tres criterios, la matriz tendrá un tamaño de 3x3.

Para facilitar la ejemplificación de la conformación de la matriz de relevancia de las alternativas, se reemplazan las fórmulas con las cuales se obtienen los valores de los vectores obtenidos en la figura 2.3 por la nomenclatura utilizada en la figura 2.7. Lo anterior ayudará a visualizar de manera más clara cómo se organizan y calculan los valores en la matriz de relevancia de las alternativas.

Figura 2.7:

Matriz de relevancia de las alternativas (preliminar)

<table><tr><th colspan="2">Criterio C1</th></tr><tr><td>$\{ \{ [1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$</td><td>A1</td></tr><tr><td>$\{ \{ [(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$</td><td>A2</td></tr><tr><td>$\{ \{ [(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$</td><td>A3</td></tr></table>	Criterio C1		$\{ \{ [1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A1	$\{ \{ [(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A2	$\{ \{ [(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A3	=	<table><tr><th colspan="2">Criterio C1</th></tr><tr><td>C1A1</td><td>A1</td></tr><tr><td>C1A2</td><td>A2</td></tr><tr><td>C1A3</td><td>A3</td></tr></table>	Criterio C1		C1A1	A1	C1A2	A2	C1A3	A3
Criterio C1																		
$\{ \{ [1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A1																	
$\{ \{ [(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A2																	
$\{ \{ [(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A3																	
Criterio C1																		
C1A1	A1																	
C1A2	A2																	
C1A3	A3																	
<table><tr><th colspan="2">Criterio C2</th></tr><tr><td>$\{ \{ [1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$</td><td>A1</td></tr><tr><td>$\{ \{ [(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$</td><td>A2</td></tr><tr><td>$\{ \{ [(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$</td><td>A3</td></tr></table>	Criterio C2		$\{ \{ [1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A1	$\{ \{ [(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A2	$\{ \{ [(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A3	=	<table><tr><th colspan="2">Criterio C2</th></tr><tr><td>C2A1</td><td>A1</td></tr><tr><td>C2A2</td><td>A2</td></tr><tr><td>C2A3</td><td>A3</td></tr></table>	Criterio C2		C2A1	A1	C2A2	A2	C2A3	A3
Criterio C2																		
$\{ \{ [1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A1																	
$\{ \{ [(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A2																	
$\{ \{ [(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A3																	
Criterio C2																		
C2A1	A1																	
C2A2	A2																	
C2A3	A3																	
<table><tr><th colspan="2">Criterio C3</th></tr><tr><td>$\{ \{ [1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$</td><td>A1</td></tr><tr><td>$\{ \{ [(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$</td><td>A2</td></tr><tr><td>$\{ \{ [(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$</td><td>A3</td></tr></table>	Criterio C3		$\{ \{ [1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A1	$\{ \{ [(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A2	$\{ \{ [(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A3	=	<table><tr><th colspan="2">Criterio C3</th></tr><tr><td>C3A1</td><td>A1</td></tr><tr><td>C3A2</td><td>A2</td></tr><tr><td>C3A3</td><td>A3</td></tr></table>	Criterio C3		C3A1	A1	C3A2	A2	C3A3	A3
Criterio C3																		
$\{ \{ [1*(A2-A1)*(A3-A1)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A1																	
$\{ \{ [(A1-A2)*1*(A3-A2)]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A2																	
$\{ \{ [(A1-A3)*(A2-A3)*1]^{(1/3)} \} / \Sigma * 100$	A3																	
Criterio C3																		
C3A1	A1																	
C3A2	A2																	
C3A3	A3																	

Elaboración propia.

En la matriz de relevancia de las alternativas, cada columna contendrá la evaluación de una sola alternativa en cada uno de los criterios, mientras que en las filas se encontrarán las evaluaciones de todas las alternativas en un solo criterio.

Figura 2.8:

Matriz de relevancia de las alternativas y el vector de relevancia de los criterios

matriz de relevancia de las alternativas			Vector de relevancia de los criterios	
C1A1	C2A1	C3A1	C1	
C1A2	C2A2	C3A2	C2	
C1A3	C2A3	C3A3	C3	

Elaboración propia.

Una vez obtenida la matriz de alternativas y el vector de relevancia de los criterios se procede a multiplicarlos. El método por el cual estos se multiplican es mismo que se utilizaría al multiplicar una matriz por un vector. En el caso hipotético planteado se tendría una matriz de relevancia de las alternativas con un tamaño 3x3, mientras que el vector de relevancia de los criterios sería de un tamaño 3x1; debido a que el número de columnas en la matriz es el mismo que el número que las filas dentro del vector, la multiplicación se puede ejecutar.

Figura 2.9:

Resultados del algoritmo de Saaty

Resultados del algoritmo de Saaty		Resultados del algoritmo de Saaty (%)	
$(C1A1 \cdot C1) + (C2A1 \cdot C2) + (C3A1 \cdot C3)$	A1	X	A1
$(C1A2 \cdot C1) + (C2A2 \cdot C2) + (C3A3 \cdot C3)$	A2	X	A2
$(C1A3 \cdot C1) + (C2A3 \cdot C2) + (C3A3 \cdot C3)$	A3	X	A3
$\Sigma = 10,000$		$\Sigma = 100$	

Elaboración propia.

La multiplicación de la matriz y el vector mencionados anteriormente tiene como resultado un nuevo vector, cuya suma total de las filas debe ser igual a diez mil. Este nuevo vector contiene los resultados del análisis multicriterio. Para facilitar su interpretación, se puede dividir entre cien para trabajar con él de forma porcentual.

En la figura 2.9 se muestra la obtención del resultado del método del algoritmo de Saaty en el caso hipotético planteado, con tres alternativas y tres criterios. En este caso, el resultado será un vector de tamaño 3×1 .

Los resultados de este método permiten asignar un peso jerárquico a cada una de las alternativas planteadas inicialmente con respecto a los múltiples criterios a los que son sometidas. A grandes rasgos, aquella alternativa que obtenga un valor porcentual más alto en el resultado de este método será de mayor jerarquía frente a aquellas que obtengan un valor menor.

2.2.- Regresión por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)

En esta investigación se utilizará el método de regresión para intentar estimar una ecuación que permita visualizar las relaciones entre un cultivo en particular y la falta de disponibilidad de agua en el estado de Michoacán. En este apartado se buscará exponer de forma general los aspectos más básicos del método de regresión (Gujarati y Porter, 2010).

En primer lugar, con una regresión se busca analizar la dependencia de una variable dependiente con respecto a una o más variables explicativas. Lo anterior no significa que se estén identificando relaciones deterministas. Dentro de las regresiones se establece la existencia de variables aleatorias o estocásticas las cuales no están directamente incorporadas dentro de las variables independientes, pero que sí tienen influencia sobre la variable dependiente.

Aunque con la regresión se establece una relación de dependencia entre variables esto no quiere decir que haya una relación causal entre ellas. La forma en que se puede establecer una relación causal es a través de estadística externa al modelo planteado y a través de la teoría que sustente la relación establecida.

Como se mencionó anteriormente la regresión establece una relación de dependencia entre variables las cuales se tratan en asimetría, existen variables dependientes, explicativas y aleatorias. Por otro lado, la correlación trata las variables de

forma simétrica, sin distinción de si es una variable dependiente o explicativa, y establece relaciones asociativas entre estas.

Existen diferentes tipos de datos para poder hacer regresiones los cuales son: los datos en serie de tiempo, la cual es información a través del tiempo; los datos transversales, la cual es información que se obtienen en el mismo periodo de tiempo, pero en distintitos espacios geográficos; y, los datos con información combinada o también conocidos como datos panel, la cual es información construida a través de datos de serie de tiempo y de datos de corte transversal.

Por otro lado, las variables pueden tener contenidas diferentes tipos de información como lo son: escala de razón, la cual contiene valores que se calculan a partir de la comparación de otras variables; escala de intervalo, que contiene valores que se asumen con respecto a la diferencia entre dos variables; escala ordinal, la cual es una magnitud que debe de llevar un cierto orden; y, escala nominal, que son valores que denotan categorías.

2.2.1.- Regresión lineal simple

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a introducirse al ejemplo más sencillo de la regresión, el cual es la regresión lineal con dos variables. Estas regresiones suponen que una de las variables es la variable explicada y la otra será la variable explicativa, también a su vez supone que es lineal debido a que los parámetros son lineales.

Con relación a lo anterior, la función de una regresión lineal poblacional con dos variables se expresaría de la siguiente forma:

$$E(Y/X_i) = f(X_i)$$

Donde:

$$E(Y/X_i) = \text{Una función lineal de } X_i.$$

$$f(X_i) = \text{Función explicativa}$$

Esta función señala que el comportamiento de Y está en función de X_i . Mientras que la función explicativa adopta la siguiente forma en los modelos poblacionales:

$$E(Y/X_i) = \beta_1 + \beta_2 X_i$$

Donde:

β_1 , β_2 = estimadores o parámetros que serán estimados

Se debe de tener en cuenta que la función antes descrita es una Función de Regresión Poblacional (FRP), la cual difícilmente se utilizará en el análisis de los fenómenos sociales, pero es muy útil para la visualización de hipótesis teóricas.

Como ya se mencionó anteriormente la FRP es una ecuación determinista, podría decirse, incluso matemática que señala que $E(Y/X_i)$ depende enteramente de $\beta_1 + \beta_2 X_i$, pero esto no es así, la función deberá de volverse estadística y agregar un comportamiento aleatorio en la función.

Suponiendo que $E(Y/X_i)$ es un valor esperado de Y_i , entonces sí estos dos son diferentes quiere decir que existen variables que no se están tomando en cuenta en el modelo, es por eso que se incluye una variable aleatoria.

La variable aleatoria es igual a:

$$\mu_1 = Y_i - E(Y/X_i)$$

Si se reacomoda algebraicamente:

$$Y_i = E(Y/X_i) + \mu_1$$

Donde:

Y_i = Valor real de la variable determinada

$E(Y/X_i)$ = Valor esperado (calculado) de la variable determinado

μ_1 = variable aleatoria o estocástica

Esta función se puede reescribir para hacerla más sencilla. Suponiendo que se trata de una relación lineal simple se obtiene que: $E(Y/X_i) = f(X_i) = \beta_1 + \beta_2 X_i$.

Por lo tanto:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_i + \mu_1$$

Por otro lado, la Función de Regresión lineal Muestral (FRM) se manifiesta de la siguiente forma:

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 X_i$$

Donde:

$$\hat{Y}_i = E(Y / X_i) \text{ estimada}$$

$$\hat{\beta}_1 \text{ y } \hat{\beta}_2 = \text{parámetros estimados}$$

Ahora justo como se hizo con la FRP se incluye una variable aleatoria o estocástica $\hat{\mu}$ la cual también será estimada. Por lo tanto, la FRM con variable aleatoria quedaría de la siguiente manera:

$$Y_i = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 X_i + \hat{\mu}_i$$

Con base en esta se podría estimar la FRP la cual ya se ha mostrado anteriormente.

En la FRM la Y_i observada se expresa de la siguiente forma:

$$Y_i = \hat{Y}_i + \hat{\mu}_i$$

Mientras que en la FRP:

$$Y_i = E(Y / X_i) = \mu_1$$

Se debe de tener en cuenta que, $\hat{Y}_i$ sobre estima la verdadera $E(Y / X_i)$ para la X_i , pero antes del punto de intersección de la FRP y la FRM la subestimaré, esto se debe a que existen fluctuaciones muestrales.

Cabe mencionar que, la FRP estimada con la FRM no es del todo confiable, pero existen por lo menos dos métodos con los cuales se puede acercar esta estimación a la verdadera FRP; estos métodos son, el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y el método de máxima verosimilitud (MV).

El MCO es el método que se utilizó en esta investigación y este fue creado por el matemático alemán Carl Friedrich Gauss. El primer paso para desarrollarlo es transformar la FRM de la siguiente manera:

$$Y_i = \hat{Y}_i + \hat{\mu}_i$$

La anterior se reinterpreta de la siguiente manera:

$$\hat{\mu}_i = Y_i - \hat{Y}_i$$

Suponiendo que: $\hat{Y}_i = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 X_i$. Entonces:

$$\hat{\mu}_i = Y_i - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_i$$

Esto se debe de hacer con todas las observaciones individuales de la FRM, adicionalmente a esto se debe de elevar al cuadrado de la siguiente manera:

$$\Sigma \hat{\mu}_i^2 = \Sigma (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

O lo que es lo mismo:

$$\Sigma \hat{\mu}_i^2 = \Sigma (Y_i - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_i)^2$$

A partir de la función anterior se puede inferir:

$$\Sigma \hat{\mu}_i^2 = f(\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2)^2$$

Tomando en cuenta lo anterior, y a muy grandes rasgos los estimadores $\hat{\beta}$ tienen que ser lo más pequeños posibles, para que $\hat{\mu}_{i2}$ se mantenga al mínimo. Una vez que se calculan los parámetros estos deben de ser expresados únicamente en términos de cantidad, deben de tener un valor puntual, aunque se puede obtener un valor por intervalo, y deben de permitir la construcción de una línea de regresión muestral.

La línea de regresión muestral presenta las siguientes propiedades, esta pasa a través de las medias muestrales de X y Y, el valor medio de $\hat{Y}_i$ estimada es igual al valor medio de Y real, el valor medio de los residuos es igual a cero, los residuos no están correlacionados con el valor pronosticado de Y_i y los residuos no están correlacionados con el valor pronosticado de X_i .

El método de mínimos cuadrados ordinarios se fundamenta bajo los siguientes supuestos:

Supuesto uno, el modelo de regresión es lineal en los parámetros. Este indica que la regresión debe de tener establecidos parámetros lineales. Cabe resaltar, que el supuesto de linealidad en parámetros no implica que las variables de la regresión tengan que ser forzosamente lineales

Supuesto dos, los valores fijos de X, o valores de X son independientes del término de error. Este señala que los valores que toma la regresora X pueden considerarse fijos en muestras repetidas, el caso de la regresora fija, o haber sido muestreados junto con la variable dependiente Y, el caso de la regresora estocástica. En el segundo caso se supone que la variable X y el término de error son independientes.

Lo anterior se muestra de la siguiente forma:

$$\text{cov}(X_i, \mu_i) = 0.$$

Supuesto tres. el valor medio de la perturbación μ_i es igual a cero. Este indica que, dado el valor de X_i , la media o el valor esperado del término de perturbación aleatoria μ_i es cero.

Simbólicamente:

$$E(\mu_i | X_i) = 0$$

O, si X no es estocástica:

$$E(\mu_i) = 0$$

Supuesto cuatro, homocedasticidad o varianza constante de μ_i . Este se cumple cuando la varianza del término de error, o de perturbación, es la misma sin importar el valor de X.

Simbólicamente:

$$\text{varianza}(\mu_i) = E[\mu_i - E(\mu_i | X_i)]^2$$

$$\text{varianza}(\mu_i) = E(\mu_i^2 | X_i), \text{ por el supuesto 3}$$

$$\text{varianza}(\mu_i) = E(\mu_i^2), \text{ si } X_i \text{ son variables no estocásticas}$$

$$\text{varianza}(\mu_i) = \sigma^2$$

Supuesto cinco, no hay autocorrelación entre las perturbaciones. Este señala que, dados dos valores cualesquiera de X , X_i y X_j ($i \neq j$), la correlación entre dos u_i y u_j cualesquiera ($i \neq j$) es cero. En otras palabras, estas observaciones se muestrean de manera independiente.

Simbólicamente:

$$\text{cov}(\mu_i, \mu_j | X_i, X_j) = 0$$

$$\text{cov}(\mu_i, \mu_j) = 0, \text{ si } X \text{ no es estocástica}$$

Este supuesto señala que no debe de existir autocorrelación, también conocida como correlación seriada. La no autocorrelación depende de que las perturbaciones μ_i y μ_j no estén correlacionadas.

Puede existir autocorrelación positiva, donde por ejemplo todo $\mu_{i1}, \mu_{i2} \dots \mu_{in}$ guardan una relación positiva. Por otro lado, puede existir autocorrelación negativa, donde por ejemplo todo $u_{i1}, u_{i2} \dots u_{in}$ guardan una relación negativa. Cuando no hay correlación todo $\mu_{i1}, \mu_{i2} \dots \mu_{in}$ guardan una relación dispersa

Supuesto seis, el número de observaciones n debe ser mayor que el número de parámetros por estimar: Sucesivamente, el número de observaciones n debe ser mayor que el número de variables explicativas.

Para poner un ejemplo a este supuesto, si se estiman los parámetros β_1 y β_2 se necesitarían por lo menos dos pares de observaciones. Ahora en el caso de estimar los parámetros $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ se necesitarían por lo menos cuatro pares de observaciones.

Supuesto siete, la naturaleza de las variables X . este indica que no todos los valores X en una muestra determinada deben ser iguales. Técnicamente, $\text{var}(X)$ debe ser un número positivo. Además, no pueden existir valores atípicos de la variable X , es decir, valores muy grandes en relación con el resto de las observaciones.

Los valores de X no deben de ser todos iguales porque de ser así X sería igual a la X calculada, por lo que el denominador de esa ecuación sería igual a cero, lo que imposibilitaría la estimación de β_2 y, por consiguiente, de β_1 .

Si existen valores de X muy grandes, con respecto a otros valores de X , los resultados de la regresión estarán dominados por los valores atípicos.

Estimación de los parámetros

Por otro lado, para calcular el error estándar de los parámetros β se debe de calcular primero la varianza de la siguiente forma:

$$\text{Var}(\hat{\beta}_2) = [(\sigma^2) / \sum X_i^2]$$

$$\text{Var}(\hat{\beta}_1) = (\sum X_i^2 / n \sum X_i^2) (\sigma^2)$$

A través de un despeje algebraico, los errores estándar serían los siguientes:

$$ee(\hat{\beta}_2) = \sigma / \sqrt{\sum X_i^2}$$

$$ee(\hat{\beta}_1) = \sqrt{[(\sum X_i^2 / n \sum X_i^2) (\sigma)]}$$

Con lo anterior hay un problema, no se conoce la varianza σ^2 . Esta deberá de ser calculada de la siguiente manera:

$$\sigma^2 = (\sum \mu_i^2 / n - 2)$$

Ahora se tiene que calcular $\sum \mu_i^2$, lo cual se hace de la siguiente forma:

$$\sum \mu_i^2 = \sum Y_i^2 - \hat{\beta}_2^2 \sum X_i^2$$

Pero para eso se debe de calcular $\hat{\beta}_2$, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$\hat{\beta}_2 = \sum X_i Y_i / \sum X_i^2$$

Las varianzas y los errores estándar de los parámetros estimados son importantes debido a que con estos indicadores se puede conocer la confiabilidad de los valores estimados.

En cuanto a la propiedad de los estimadores, un tema importante es el teorema de Gauss-Markov el cual está relacionado con los supuestos del MCO. Lo que se busca con el teorema es encontrar el Mejor Estimador Lineal Insesgado (MELI) de $\hat{\beta}_2$. Es decir que el $\hat{\beta}_2$ se acerque lo más posible al β_2 verdadero.

Para que se cumpla lo anterior, el $\hat{\beta}_2$ deberá de ser lineal, deberá ser insesgado y deberá tener una varianza muy pequeña. Es decir, el valor $\hat{\beta}_2$ es igual al verdadero valor de β_2 .

Para saber si se trata de un Meli se deberá de observar cómo se distribuyen sus datos, estos lo deberán de hacer de una forma que se acople a la distribución normal. Como el parámetro $\hat{\beta}_2$ es igual al parámetro β_2 verdadero ambos mantienen en sus datos una distribución normal.

La bondad de ajuste

Otro tema importante dentro de la regresión lineal a través del método MCO es la bondad del ajuste la cual se refiere a que tan “bien” se ajusta una línea de regresión a los datos. Esta se puede cuantificar a través del coeficiente de determinación. En la regresión se busca que los residuales se alejen lo menos posible de la línea de regresión.

El coeficiente de determinación es la medida que indica que tan bien se ajusta esta línea de regresión a los datos utilizados, en el modelo simple se indicará como una r^2 y en los modelos múltiples como R^2 .

El coeficiente de determinación sirve también para calcular otro coeficiente importante para la regresión, este es el coeficiente de correlación, el cual revela el grado de asociación entre variables. Este se calcula de la siguiente forma:

$$r = \sqrt{r^2}$$

Algunas propiedades de r son las siguientes:

- Se encuentra en un intervalo $[1 \text{ y } -1]$.
- El coeficiente entre Y, X y X, Y es el mismo. Es decir, es simétrico.
- Este es independiente del origen y de la escala.
- una correlación igual a cero no implica independencia en las variables.
- Solo tiene significado en los modelos lineales.
- Este no implica que haya una relación causa-efecto entre variables.

Una vez obtenida la estimación se procede a realizar las pruebas de normalidad, de normalidad, multicolinealidad, heterocedasticidad y autocorrelación. Estas pruebas son conocidas como pruebas de hipótesis y sirven para saber que tan cerca están los parámetros y varianza estimados ($\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\sigma}^2$) de los parámetros y varianza verdaderos ($\beta_1, \beta_2, \sigma^2$).

Es importante señalar que la regresión puede ser estimada de varias formas, ya sea de manera manual o mediante el uso de paquetes estadísticos como EViews, lenguajes de programación como R y RStudio, e incluso a través de sistemas de información geográfica como GeoDa.

2.2.2.- Pruebas de normalidad

En el modelo clásico de regresión lineal normal se supone que cada μ_i está normalmente distribuida. Esto se denota mediante la siguiente función:

$$\mu_i \sim N(0, \sigma^2)$$

Donde:

$\sim$ = distribuido

N= distribución normal

0= media cero

σ^2 = varianza

Para las dos variables covarianza cero y coeficiente de correlación cero, esto quiere decir que hay independencia de las variables.

Con lo mencionado anteriormente se puede suponer la existencia de μ_i y μ_j las cuales no están correlacionadas y están independientemente distribuidas. Por lo tanto, se tendría la siguiente función:

$$\mu_i \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$$

Donde:

NID= normal e independientemente distribuido

Consecuencias

La normalidad es importante porque si μ_i mantiene una distribución normal, los parámetros estimados con MCO serán insesgados y tendrán varianza mínima. Además, a medida que la muestra avanza indefinidamente los estimadores calculados tenderán a

acercarse a los estimadores verdaderos. En conclusión, cuando μ_i mantiene una distribución normal, $\hat{\beta}_2$ y $\hat{\beta}_1$ son mejores estimadores insesgados (MEI)

Detección

Existen varias pruebas para evaluar la normalidad en un modelo de regresión, sin embargo, para esta investigación se emplearán las pruebas de Jarque-Bera y Shapiro-Wilk. Estas pruebas pueden llevarse a cabo utilizando paquetes estadísticos como EViews, así como mediante lenguajes de programación de código abierto como R o RStudio.

2.2.3.- Pruebas de Multicolinealidad

Por otro lado, la multicolinealidad se refiere a cuando existe una relación lineal entre las variables explicativas que conforma una función de regresión, esta puede ser perfecta, alta, moderada o baja.

Es importante señalar que el problema de la multicolinealidad no surge en regresiones con una única variable explicativa, sino que únicamente se presenta en regresiones que contienen más de una variable explicativa.

Causas

La multicolinealidad puede deberse a:

- El método de recolección de información (la cantidad y diversidad de los datos).
- Restricciones en el modelo o en la población objeto de muestreo.
- Una Mala especificación de la regresión.
- Un modelo sobre determinado. Es decir, cuando la regresión tiene más variables explicativas que el número de observaciones.
- Que las regresoras del modelo compartan una tendencia común.

Consecuencias

Si se hace una estimación en presencia de multicolinealidad perfecta, los coeficientes de regresión de las variables X serán indeterminados. Mientras que, si se

hace una estimación con presencia de multicolinealidad “alta”, el parámetro será calculable, aunque este es será poco confiable.

Cabe resaltar que, aunque exista multicolinealidad, si los estimadores pueden calcularse serán estimadores MELI esto debido a que:

- Los estimadores en teoría siguen siendo insesgados
- Siguen teniendo una varianza mínima (aunque esta no sea pequeña)
- La multicolinealidad solo existe a nivel muestral (en la función poblacional no existe)

Por otro lado, las principales consecuencias de la multicolinealidad son:

- Varianzas y covarianzas grandes
- Intervalos de confianza más amplios
- Razones t “no significativas”
- Una R^2 alta pero pocas razones t significativas
- Sensibilidad de los estimadores de MCO y sus errores estándar ante cambios pequeños en los datos

Detección

Teniendo en cuenta lo anterior, surge la importancia de identificar el problema de multicolinealidad. A continuación, se muestran una serie de pruebas que permiten detectar y medir la fuerza de la multicolinealidad:

- a) Una R^2 elevada pero pocas razones t significativas

Este indica que existe multicolinealidad cuando el indicador R^2 se encuentra por arriba de 0.80 y las pruebas t individuales muestran que ningún coeficiente parcial dependiente es estadísticamente diferente de cero.

- b) Altas correlaciones entre parejas de regresoras

Esta consiste en generar regresiones entre las variables regresoras para poder observar su coeficiente correlación, si este es mayor a 0.80 se tratará de un problema grave de multicolinealidad.

Se debe de tener claro que esta prueba puede ser muy poco recomendable. Esto debido a que la multicolinealidad puede existir incluso cuando el índice de correlación de las variables regresoras es menor a 0.50.

La aplicación de esta prueba es recomendable únicamente cuando existen dos variables regresoras.

c) Examen de las correlaciones parciales

A esta se le conoce como prueba de Farrar-Glauber la cual consiste en realizar una serie de correlaciones parciales donde un R^2 muy alto entre las variables explicativas indicará un problema de multicolinealidad.

Es importante mencionar que esta prueba puede haber recibido muchas críticas y puede que sea poco efectiva.

d) Regresiones auxiliares

Esta señala que se debe de regresar cada una de las variables explicativas por las variables explicativas restantes y después calcular su R^2 .

Una vez hecho lo anterior se obtiene:

$$F_i = ((R^2_{x_n}) / (k-2)) / ((1- R^2_{x_n}) (n- k + 1))$$

Donde:

$R^2_{x_n}$ = coeficiente de determinación de la regresión de una variable explicativa específica sobre las demás variables específicas restantes

n = tamaño de la muestra

k = el número de variables explicativas incluyendo el intercepto

Si F_i es estadísticamente significativa es probable que esa variable presente problemas de multicolinealidad y con esto se debe evaluar si esta debe eliminarse de la regresión.

Una forma para determinar si una variable debe de ser eliminada es a través de la regla práctica de Klein la cual señala lo siguiente:

Su poniendo que R^2_Y se refiere al indicador obtenido de manera global en la ecuación original de la regresión. Es decir, de regresar Y sobre las múltiples X

Si se tiene que:

Si $R^2_{X_n} > R^2_Y$ entonces existe un problema grave de multicolinealidad

Si $R^2_{X_n} < R^2_Y$ entonces no existe un problema grave de multicolinealidad

e) Valores propios e índice de condición

Esta prueba consiste en obtener a través de una serie de matrices un valor propio máximo y uno mínimo con los cuales se puede conocer el número de condición k de la siguiente manera:

$k = \text{valor propio máximo} / \text{valor propio mínimo}$

Este ayudará a conseguir el índice de condición (IC), este se calcula de la siguiente manera:

$$IC = \sqrt{k}$$

Con respecto a lo anterior, existe una regla práctica que indica lo siguiente:

Si IC es menor que 10 existe multicolinealidad débil

Si IC esta entre 10 y 30 existe multicolinealidad de moderada a fuerte

Si IC es mayor que 30 existe multicolinealidad grave

f) Tolerancia y factor de inflación de la varianza

Esta puede ser calculada a través de distintos tipos de software. La regla práctica dicta lo siguiente:

Si el factor de inflación de la varianza (FIV) es mayor a 10 existen problemas graves de multicolinealidad. Por otro lado, si la tolerancia (TOL) es cercana a 1 indicará que no existe problema. Se debe de tener cuidado con estas medidas ya que no son del todo confiables.

Medidas correctivas

Anteriormente se han expuesto una serie de pruebas que analizan la existencia y la magnitud de la multicolinealidad de una regresión, pero también es importante conocer cómo actuar en presencia de este problema. Es por esto que a continuación, se mostrará qué hacer en caso de que este problema se presente.

La primera opción sería, no hacer nada ya que los problemas de multicolinealidad por lo general tienen su raíz en los datos disponibles. Por lo tanto, nada se puede hacer para mejorar la calidad y la cantidad de estos.

La segunda opción sería, hacer algo. En este caso se pueden ejecutar las siguientes acciones:

a) Información *a priori*

Se puede asignarle un valor a uno de los estimadores con respecto a la tasa de cambio que tiene con otro. Por ejemplo, si se supone que la siguiente función presenta multicolinealidad:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \mu_i$$

Se puede resolver de la siguiente forma:

$$\beta_3 = 0.10\beta_2$$

Esto suponiendo que 0.10 que la tasa de cambio de Y respecto de X_{2i} es una décima parte de la correspondiente respecto de X_{3i} .

Hay algo importante que añadir, este valor *a priori* que se le asigna no puede ser asignado de manera arbitraria, debe de tener algún estudio empírico que lo respalde.

b) Eliminación de una(s) variable(s) y el sesgo de especificación

Se debe de eliminar una de las variables de la regresión, de esta manera deja de existir multicolinealidad.

Cabe señalar que esta posiblemente sea la peor solución. Esto debido a que si se elimina una de las variables se puede caer en un problema de sesgo de especificación, el cual es un problema más grave que la multicolinealidad.

c) Transformación de variables

Se pueden transformar a primeras diferencias si se trata de una serie de tiempo:

$$(Y_t - Y_{t-1}) = \beta_2 (X_{2t} - X_{2t-1}) + \beta_3 (X_{3t} - X_{3t-1}) + (\mu_t - \mu_{t-1})$$

Esto por lo general reduce los problemas de multicolinealidad

También se puede utilizar la transformación de razón. Es decir, por ejemplo, si una de las variables es número de población se puede dividir en toda la ecuación:

$$(Y_t / X_{3t}) = ((\beta_1) (1 / X_{3t}) + \beta_2 (X_{2t} / X_{3t}) + \beta_3 + (\mu_t / X_{3t}))$$

Esto podría aliviar el problema de multicolinealidad.

Estos dos métodos pueden causar los siguientes problemas:

Primeras diferencias: es muy seguro que si μ_t no estaba serialmente correlacionado $(\mu_t - \mu_{t-1})$ sí lo esté.

Transformación de razón: si μ_t homoscedástico seguramente (μ_t / X_{3t}) será heterocedástico

d) Datos nuevos o adicionales

Esta solución parece muy fácil, aunque en la práctica puede llegar a ser imposible, se trata de solo aumentar la cantidad de observaciones de las variables.

e) Reducción de la colinealidad en las regresiones polinomiales

Convertir los datos a desviaciones del valor medio. Esto es muy probable que no funcione.

A pesar de todo lo anterior si la regresión es usada para elaborar una predicción, no importa mucho que presente problemas de multicolinealidad, siempre y cuando

presente R^2 elevada. Por otro lado, si se requiere estimar parámetros confiables, la multicolinealidad representa un gran problema.

2.2.4.- Pruebas de heteroscedasticidad

Otro problema a tomar en cuenta dentro de la regresión es el problema de la heteroscedasticidad, el cual consiste en la violación del supuesto de homocedasticidad del modelo clásico, el cual dicta que las varianzas son constantes.

Causas

Las razones por las que se puede presentar heteroscedasticidad son:

- a) Aprendizaje de los errores. Esto ocurre cuando la gente aprende de sus errores y cambia su comportamiento, esto altera la varianza
- b) Comportamiento de las personas a través del tiempo y escenarios socio-económicos
- c) Si las técnicas de recolección de datos mejora es muy probable que la varianza disminuya
- d) Presencia de datos atípicos.
- e) Por una mala especificación de la regresión. Por ejemplo, que se agregue una variable innecesaria o que se omita una necesaria.
- f) La asimetría que presentan los datos
- g) Por una incorrecta transformación de los datos a primeras diferencias o transformaciones de razón
- h) Forma funcional incorrecta. Por ejemplo, si se necesita hacer una regresión no lineal, pero se está utilizando una regresión lineal.

Consecuencias

Cuando en una regresión existe presencia de heteroscedasticidad los parámetros calculados pueden seguir siendo insesgados, pero las consecuencias de este problema son las siguientes:

- a) No se obtienen estimadores MELI
- b) Las pruebas F y t dan resultados imprecisos
- c) La varianza de los estimadores no es precisa

Cabe señalar que en presencia de heteroscedasticidad fuerte se debe de abandonar el uso de MCO y se debe optar por recurrir a método de Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG) o de Mínimos Cuadrados Ponderados (MCP).

Detección

Existen dos categorías para la detección de heteroscedasticidad. La primera corresponde a la categoría informal, que abarca los análisis de la naturaleza del problema y métodos gráficos. La segunda corresponde a la categoría formal, que incluye pruebas como las de Park, Glejser, correlación de orden de Spearman, Goldfeld-Quandt, Breusch-Pagan-Godfrey, White, y la prueba Koenker-Basset.

En esta investigación, solo se aplicarán las pruebas Breusch-Pagan-Godfrey y White para la detección de problemas de heteroscedasticidad. Por lo tanto, a continuación se procede a describirlas:

Prueba Breusch-Pagan-Godfrey:

Suponiendo la siguiente función:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \mu_i$$

Primer paso: mediante MCO se obtiene $\hat{\mu}_1, \hat{\mu}_2, \hat{\mu}_3 \dots, \hat{\mu}_n$.

Segundo paso: se obtiene la varianza σ^2 a través del método de máxima verosimilitud (MV)

Tercer paso: se construye las variables π_i definidas como:

$$\pi_i = \hat{\mu}_i / \sigma^2$$

Cuarto paso: se genera la siguiente función:

$$\pi_i = \alpha_1 + \alpha_2 Z_{2i} + \dots + \alpha_m Z_{mi} + v_i$$

Donde:

Z= Algunas o todas las variables explicativas

Y posteriormente se hace la regresión

Quinto paso: se obtiene la suma de cuadrados explicados (SCE) y se hace la siguiente operación:

$$\Phi = (1/2) \text{ SCE}$$

Donde:

$$\Phi = x^2 \text{ (ji cuadrada)}$$

Entonces:

Si Φ es mayor que el valor crítico de ji cuadrada se dice que hay presencia de heteroscedasticidad

Si Φ es menor que el valor crítico de ji cuadrada se dice que no hay presencia de heteroscedasticidad

Prueba general de heteroscedasticidad de White:

Para esta prueba se supone la siguiente función:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \mu_i$$

Primer paso: se hace la regresión y se obtiene $\hat{\mu}_i$

Segundo paso: se configura la siguiente función:

$$\hat{\mu}_i = \alpha_1 + \alpha_2 X_{2i} + \alpha_3 X_{3i} + \alpha_4 X_{2i}^2 + \alpha_5 X_{3i}^2 + \alpha_6 X_{2i} X_{3i} + v_i$$

Esta función se obtiene de la original y simplemente se elevaron los exponentes al cuadrado y también se multiplicaron las variables explicativas (el caso de α_6).

Tercer paso: se obtiene de R^2 de la ecuación anterior y se hace lo siguiente:

$$n \cdot R^2 \sim \chi^2_{gl}$$

Donde

$\sim \chi^2_{gl}$ = Asintóticamente sigue la distribución ji cuadrada con gl igual al número de regresoras

Cuarto paso: Los resultados se deben de evaluar de la siguiente forma:

Si $n \cdot R^2 \sim \chi^2_{gl}$ es mayor que el valor ji cuadrada crítico en el nivel de significancia seleccionado, entonces hay heteroscedasticidad.

Si $n \cdot R^2 \sim \chi^2_{gl}$ es menor que el valor ji cuadrada crítico en el nivel de significancia seleccionado, entonces no hay heteroscedasticidad.

Cabe señalar que, si bien las pruebas anteriormente mencionadas pueden realizarse de forma manual, también están incluidas en varios tipos de software estadístico y lenguajes de programación, lo cual facilita la detección de este problema.

Medidas correctivas

En cuanto a las medidas correctivas que se deberán utilizar, estas dependen de si se conoce la varianza. En el caso de que se conozca la varianza, se deberá optar por el método de Mínimos Cuadrados Ponderados (MCP). Por otro lado, si se desconoce la varianza, se deberán utilizar las varianzas y errores estándar consistentes con heteroscedasticidad de White o aplicar supuestos razonables sobre el patrón de heteroscedasticidad.

Método de los Mínimos Cuadrados Ponderados (MCP)

Este consiste en lo siguiente:

Primero se supone la existencia de esta función:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \mu_i$$

Como se supone que se conocen las varianzas heteroscedásticas, entonces:

$$(Y_i / \sigma^2) = \beta_1 (1 / \sigma^2) + \beta_2 (X_{2i} / \sigma^2) + (\mu_i / \sigma^2)$$

Los estimadores que se obtengan a través de una posterior regresión con MCO serán MELI

Varianzas y errores estándar consistentes con heteroscedasticidad de White:

Esta corrección se encuentra en muchos paquetes estadísticos y puede encontrarse como errores estándar robustos y actúa particularmente bien en muestras

grandes. Los errores estándar elaborados por White toman en cuenta y se ajustan a la heteroscedasticidad.

Supuestos razonables sobre el patrón de heteroscedasticidad:

El patrón de heteroscedasticidad supone la siguiente función:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_i + \mu_i$$

De estos supuestos se derivan cuatro posibles soluciones para abordar el problema de heteroscedasticidad. En esta investigación, solo se empleará la transformación logarítmica, ya que es la opción más sencilla. Esta consiste únicamente en transformar los datos de las variables explicativas y explicadas en logaritmos de la siguiente manera:

$$\ln Y_i = \beta_1 + \beta_2 \ln X_i + \mu_i$$

Es importante señalar que existen dos ventajas al usar logaritmos. En primer lugar, la diferencia entre variables se reduce, ya que la escala con la que se miden las variables se comprime. En segundo lugar, el modelo permite medir un cambio porcentual en Y ante un cambio porcentual en X, esto se debe de tomar en cuenta a la hora de interpretar el resultado de la regresión.

Por último, es importante señalar dos aspectos interesantes. En primer lugar, si la regresión presenta un leve grado de heteroscedasticidad, no se debe descartar automáticamente. En segundo lugar, el problema de heteroscedasticidad suele presentarse con mayor frecuencia en regresiones con datos de corte transversal.

2.2.5.- Pruebas de autocorrelación

Por otro lado, la autocorrelación es la correlación entre los errores del modelo, se supone que una propiedad del método del modelo es que no tenga autocorrelación o lo que es lo mismo:

$$\text{Cov}(u_i, u_j / X_i, X_j) = E(u_i, u_j) = 0$$

Para esto:

$$j \neq i$$

Por otro lado, la existencia de correlación se representa de la siguiente forma:

$$E(u_i, u_j) \neq 0$$

En otras palabras, la autocorrelación se refiere a que los valores de una variable están correlacionados entre sí. Esta puede presentarse tanto en regresiones con datos de serie de tiempo como en datos de corte transversal.

La autocorrelación en las regresiones con datos de serie de tiempo consiste en que los datos del pasado influyeron o se encuentran correlacionados sobre los datos posteriores a este. Por otro lado, la autocorrelación en las regresiones con datos de corte transversal consiste en que los datos de un espacio geográfico influyen o se correlaciona con los datos de otro espacio geográfico.

Causas

Las posibles causas de la autocorrelación son las siguientes:

a) Inercia:

Esta se presenta normalmente en datos de series de tiempo, este tipo de datos presenta ciclos, la tendencia de este ciclo genera que con cada periodo de tiempo esta vaya ganando fuerza hasta que un evento disruptivo la frene.

b) Sesgo de especificación: el caso de excluir variables

Se refiere a la exclusión u omisión de una variable importante en la regresión modelada.

c) Sesgo de especificación: forma funcional incorrecta

Esta se refiere a que se está utilizando una función que no satisface el comportamiento de los datos. Por ejemplo, si los datos se comportan de forma cuadrática y se utiliza una función de regresión lineal.

d) Fenómeno de la telaraña

Esta se refiere a que el valor de la variable explicada (Y_t) se ve afectado por el comportamiento de la variable explicativa rezagada (X_t).

e) Rezagos

Es similar al fenómeno anterior, solo que en este caso el valor de la variable dependiente actual (Y_t) está en función del valor de la variable dependiente rezagada (Y_{t-1}).

f) “Manipulación” de datos

Esta se puede presentar a la hora de utilizar suavizamientos por medio de promedios en datos de serie de tiempo o mediante la interpolación o extrapolación de datos.

g) Transformación de datos

De forma muy general, esta ocurre cuando se transforma la función original de la regresión a un modelo de primeras diferencias o al hacer una transformación de razón.

h) No estacionariedad

La no estacionariedad ocurre cuando la media, varianza y covarianza de una serie de tiempo son variantes respecto del tiempo.

Consecuencias

Existen los siguientes dos escenarios en los que se aplican MCO a modelos con presencia de autocorrelación:

a) Estimación por MCO tomando en cuenta la autocorrelación

Si se sabe que el modelo presenta autocorrelación y aun así se sigue con la estimación de MCO se debe de tener en cuenta que:

- $\hat{\beta}_2$ tendrá una varianza muy grande
- $\hat{\beta}_2$ podría indicar que es igual a cero. Entonces se aceptaría la hipótesis nula de que $\beta_2 = 0$

Lo correcto sería no estimar con MCO. Por el contrario, se debería de estimar de manera correcta a través del MCG.

b) Estimación por MCO ignorando la autocorrelación

Si se ignora totalmente que el modelo tiene autocorrelación seguramente se usará una varianza que no es la mínima, lo cual ocasionará los siguientes errores:

- La varianza estimada por MCO subestimaré a la verdadera
- Se sobre estimará R^2
- Las pruebas t y F dejan de ser válidas

Detección

La autocorrelación se puede detectar mediante la prueba Durbin-Watson, la prueba de las rachas, también conocida como prueba Geary, o por medio de la prueba Breusch-Godfrey.

a) Prueba de “las rachas”

La prueba de las rachas es conocida también como prueba de Geary. Esta toma en cuenta la cantidad de veces que existen consecutivamente residuos positivos o negativos, primero se debe de construir lo siguiente:

N = número total de observaciones = $N_1 + N_2$

N_1 = número de símbolos + (es decir, residuos +)

N_2 = número de símbolos – (es decir, residuos –)

R = número de rachas

Se debe de cumplir la siguiente condición:

$N_1 > 10$ y $N_2 > 10$

Se construye lo siguiente:

$\text{Prob} [E(R) - 1.96\sigma_R \leq R \leq E(R) + 1.96\sigma_R] = 0.95$

Si R está incluido en este intervalo no hay autocorrelación

Si R no está incluido en este intervalo sí hay autocorrelación

b) Prueba de Durbin-Watson

Este se construye de la siguiente forma:

$$d = (\sum_{t=2}^n (\hat{\mu}_t - \hat{\mu}_{t-1})^2) / (\sum_{t=1}^n (\hat{\mu}_t^2))$$

Tiene por supuesto:

- Debe incluir intercepto para obtener la Suma de Cuadrados Residual
- Las X son fijas
- Las perturbaciones u_t se generan mediante el esquema autorregresivo de primer orden
- $\hat{\mu}_t$ está distribuida de forma normal
- No se puede incluir Y_{t-1} como variable explicativa
- No admite “huecos” en las series de datos

El estimador siempre se moverá dentro de:

$$0 \leq d \leq 4$$

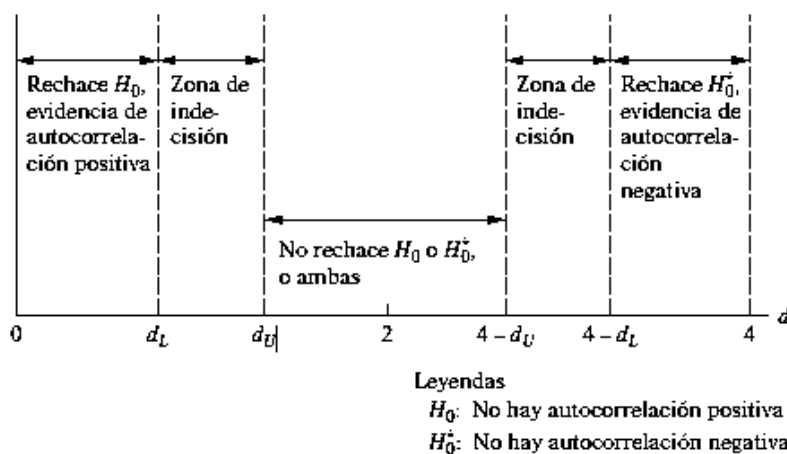
Si se acerca a 0 es autocorrelación positiva

Si se acerca a 4 es autocorrelación negativa

Si es $d=2$ no hay correlación

Figura 2.10:

Estadístico d Durbin-Watson



Tomada de Gujarati y Porter (2010, p. 435)

La tabla 2.10 muestra cómo determinar con exactitud la presencia o ausencia de autocorrelación. En primer lugar, es necesario identificar en la tabla Durbin-Watson los valores críticos d_L y d_U , los cuales variaran dependiendo del tamaño de la muestra y de la cantidad de variables explicativas utilizadas en la regresión.

Posteriormente, se deben de construir los siguientes intervalos:

Correlación positiva

$(0, d_L)$

Correlación negativa

$(4 - d_L, 4)$

Zonas de indecisión

(d_L, d_U)

$(4 - d_U, 4 - d_L)$

Sin presencia de autocorrelación

$(d_U, 4 - d_U)$

Por último, se debe identificar dentro de qué intervalo se encuentra el valor calculado mediante la prueba Durbin-Watson. El resultado dependerá de la ubicación dentro del intervalo. Por ejemplo, si el valor se encuentra dentro del intervalo $(d_U, 4)$ se puede afirmar que no existe presencia de autocorrelación.

c) Una prueba general de autocorrelación: la prueba de Breusch-Godfrey (BF)

Esta prueba se realiza de la siguiente manera:

Primero se supone lo siguiente:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t + \mu_t$$

Se hace la primera regresión y se obtiene $\hat{\mu}$, posteriormente se programa la siguiente función:

$$\hat{\mu}_t = \alpha_1 + \alpha_2 X_t + \hat{P}_1 \hat{\mu}_{t-1} + \hat{P}_2 \hat{\mu}_{t-2} + \dots + \hat{P}_p \hat{\mu}_{t-p} + \varepsilon_t$$

De esta se obtiene R^2 y se programa la siguiente función:

$$(n - p)R^2 \sim \chi^2_p$$

Donde:

χ^2_p = distribución ji cuadrada con p gl

Si $(n - p)R^2 > \chi^2_p$ existe autocorrelación (correlación serial)

Si $(n - p)R^2 < \chi^2_p$ no existe autocorrelación (correlación serial)

Es importante destacar que estas pruebas pueden realizarse manualmente, pero también hay disponibles software y lenguajes de programación que facilitan su ejecución.

Medidas correctivas

Existen cuatro diferentes medidas correctivas para la autocorrelación, los cuales se exponen a continuación:

- a) La primera consiste en revisar que se trate de un problema de autocorrelación y no un problema de especificación
- b) Si se trata de un problema de autocorrelación pura se debe de aplicar el método de MCG
- c) Si la muestra es muy grande se debe de aplicar el método Newey-West
- d) Solo en casos muy específicos se puede conservar el método de MCO

Para saber que una regresión está bien especificada se tiene que crear otra variable explicativa la cual resultará de elevar al cuadrado la variable explicativa anteriormente definida, esto por si se trata de una relación no lineal. Si el indicador de Durbin-Watson no se acerca a 2 se trata de un problema de autocorrelación pura.

Se puede corregir la autocorrelación pura mediante el método de los mínimos cuadrados generalizados (MCG), pero para esto se debe de considerar si se conoce ρ (rho) o no:

- a) Cuando se conoce ρ

Primero se supone la existencia de las siguientes dos:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t + \mu_t$$

$$Y_{t-1} = \beta_1 + \beta_2 X_{t-1} + \mu_{t-1}$$

La segunda se multiplica por ρ

$$\rho Y_{t-1} = \rho \beta_1 + \rho \beta_2 X_{t-1} + \rho \mu_{t-1}$$

Se resta esta con respecto a la primera:

$$(Y_t - \rho Y_{t-1}) = \beta_1 (1 - \rho) + \beta_2 (X_t - \rho X_{t-1}) + \varepsilon_t$$

A esta ecuación se le aplica el método de MCO. Esto permitirá que los estimadores sean MELI.

Solo se debe de tener en cuenta que a la primera observación se le aplicará la transformación Prais-Winsten, la cual consiste en lo siguiente:

$$Y_1 = \sqrt{1 - \rho^2}$$

$$X_1 = \sqrt{1 - \rho^2}$$

b) Cuando no se conoce ρ

Cuando no se conoce ρ se puede intentar corregir mediante el uso del método de Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles (MCGF), también conocido como Mínimos Cuadrados Generalizados estimados (MCGE) o a través del método Newey-West. En esta investigación se utilizará este último método correctivo en caso de que se detecte autocorrelación.

Se puede utilizar el método Newey-West debido a que este busca conservar la utilización de MCO, pero con una modificación en los errores estándar, a esta transformación se le conoce como errores estándar Consistentes con Heteroscedasticidad y Autocorrelación (CHA) o errores Newey-West. Cabe señalar que existen paquetes estadísticos que pueden generar este de manera automática este procedimiento.

Cabe señalar que este procedimiento es exclusivo para muestras grandes y se puede utilizar en casos de heterocedasticidad.

Lo que hace este método es evidenciar la subestimación de los errores por parte de MCO, entonces el procedimiento CHA se acerca más a los verdaderos errores estándar.

2.3.- Detección de autocorrelación espacial por medio del índice de Moran

Este método se utilizará dentro de esta investigación para entender cómo influyen algunas variables hídricas sobre la distribución geográfica de la agricultura dentro del estado de Michoacán.

La autocorrelación espacial parte de la suposición de que lo que ocurre en un espacio geográfico se encuentra conectado, siendo los espacios geográficos más cercanos los que mayor conexión tienen entre sí (Celemín, 2009).

Si bien en el apartado anterior se mencionó que la autocorrelación era un problema para el método de regresión, en el caso de la autocorrelación espacial se busca identificar la existencia de esta en datos de corte transversal.

Dentro de este método, se busca identificar que un cierto fenómeno no se distribuye de forma aleatoria en el espacio geográfico. Por el contrario, se intenta detectar asociaciones entre espacios geográficos que presentan valores similares.

2.3.1.- Tipos de autocorrelación

En un grupo de espacios geográficos relacionados entre sí, puede haber autocorrelación positiva, negativa o ausencia de la misma.

La autocorrelación positiva indica que los valores similares, ya sean altos o bajos, tienden a concentrarse en espacios geográficos bien definidos.

La autocorrelación negativa se identifica debido a que los valores que presenta cada espacio geográfico son diferentes a los que presentan los espacios geográficos vecinos

Mientras que la ausencia de autocorrelación espacial significa que los valores se distribuyen de manera aleatoria en todos los espacios geográficos.

2.3.2.- Identificación de autocorrelación espacial por medio del índice de Moran univariado

A continuación, se explica de manera general el método paso a paso para identificar la presencia de autocorrelación espacial a través del índice de Moran univariado. (Gómez Sántiz, 2022) y (Celemín, 2009).

El primer paso es identificar la variable que se desea analizar. Posteriormente, se define el espacio donde se realizará el análisis, el cual estará dividido en espacios geográficos. Por último, se deben de encontrar los datos de corte transversal de la

variable que se desea analizar. La información puede ser procesada utilizando programas de información geográfica, por ejemplo, GeoDa.

Una vez que la información está vertida en el programa GeoDa, se procede a la creación de una matriz de pesos espaciales. Esta indicará la cantidad de vecinos que tiene cada uno de los espacios geográficos. Al elaborar la matriz de pesos espaciales, es importante tener en cuenta el tipo de contigüidad con la que se hará el análisis.

Existen diferentes tipos de continuidad con los cuales se puede elaborar la matriz de pesos espaciales. Estos pueden ser de tipo reina, torre o alfil. La continuidad tipo reina contará como vecindad a cualquier espacio geográfico que colinde con alguno de los límites de un espacio geográfico en específico. Por otro lado, la continuidad tipo torre considerará como vecinos aquellos espacios geográficos que compartan los límites laterales, superiores e inferiores. Por último, la continuidad de tipo alfil solo tomará como vecinos a aquellos espacios geográficos que comparten fronteras de forma diagonal.

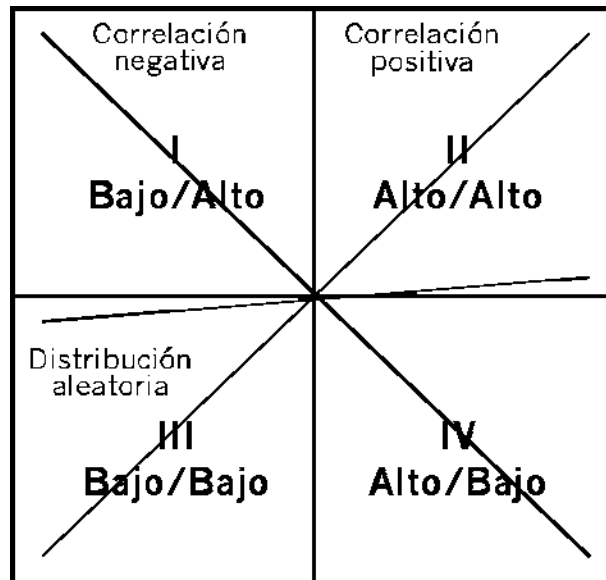
Con esta información el programa GeoDa será capaz calcular el índice de Moran univariado, el cual es una prueba para identificar la existencia de autocorrelación espacial.

Es importante señalar que el índice de Moran es similar al coeficiente de correlación de Pearson, ya que ambos pueden asumir valores dentro del intervalo $[-1, 1]$. Sin embargo, en el caso del índice de Moran, los valores que se acercan a -1 reflejan autocorrelación negativa. Por otro lado, los valores cercanos a 1 indican presencia de autocorrelación positiva. Mientras que, si el valor se acerca a 0 , refleja la ausencia de autocorrelación, es decir, un comportamiento aleatorio.

Este software no solo calcula el valor del índice de Moran, también elabora un gráfico de dispersión dividido en cuadrantes donde se pueden observar los resultados de este (figura 2.11).

Figura 2.11:

Gráfico de dispersión del índice de Moran



Tomado de Milanese (2019).

La figura 2.11 muestra los cuadrantes en los que se divide el índice de Moran. Donde el cuadrante I contiene todos los valores que en la variable X sean bajos, pero que en la variable Y sean altos. Mientras, que el cuadrante II contiene los valores que sean altos en X y también en Y. Por otro lado, en el cuadrante III se ubican los valores que son bajos en X y bajos en Y. Por último, en el cuadrante IV se encuentran los valores que son bajos en X también en Y.

En la figura 2.11 se pueden observar tres líneas de tendencia. Si el valor del índice de Moran es cercano a -1 el programa elaborará una línea que atraviesa los cuadrantes I y IV, lo que indicará una autocorrelación negativa. Mientras, que si el índice de Moran se acerca a 1 se dibujará una línea que atravesará los cuadrantes III y II, lo que indica la existencia de una autocorrelación positiva. Por último, si el valor del índice de Moran es cero se dibujará una línea horizontal que indicará que no existe autocorrelación espacial.

Posteriormente se recurre a la herramienta de aleatorización del programa GeoDa que permite a través de permutaciones realizar los cálculos del p valor y del Z score. Los cuales son necesarios afirmar o negar la presencia de autocorrelación espacial. Para esto

primero se deberá de establecer el nivel de confianza y error estadística a la cual se evaluará la prueba. Por ejemplo, si la prueba se elabora al 95% de confianza el p valor tendrá que ser menor a 0.05 y el Z score no tendrá que encontrarse dentro del intervalo $[-1.96, 1.96]$. Si esto se cumple, se puede afirmar la autocorrelación espacial.

El índice de Moran también puede representarse a través de un mapa, el programa GeoDa tiene una herramienta que permite elaborar mapas donde se puede observar en que espacios geográficos existen agrupaciones de valores lo cual ayuda a la identificación de clusters distribuidos por el espacio estudiado.

2.3.3.- Identificación de autocorrelación espacial en más de una variable

Cabe señalar que el índice de Moran se puede calcular utilizando una sola variable, llamado univariado o con dos variables, llamado bivariado. El índice de Moran bivariado se calcula de manera similar al univariado, con la diferencia de que se debe incorporar una segunda variable al análisis anteriormente explicado. En cuanto el programa GeoDa, para calcular el índice Moran bivariado se debe seleccionar la opción correspondiente al índice de Moran bivariado.

A la hora de hacer la interpretación del resultado del I de Moran bivariado se debe de tener en cuenta se está evaluando si existen diversas asociaciones espaciales entre las dos variables analizadas.

En el caso de que el análisis requiera la incorporación de más de dos variables, existen otros métodos disponibles, como el Geary local multivariable. Este método se encuentra disponible dentro del programa GeoDa y permite realizar mapas de autocorrelación espacial donde se toman en cuenta múltiples variables.

Los resultados en los mapas creados por el Geary local no indicarán cómo están conformadas las agrupaciones de datos, como sí lo hacen los mapas hechos con el índice de Moran, pero reflejaran si en una agrupación o cluster existe autocorrelación positiva o negativa. Para facilitar la interpretación de estos mapas se debe de tener en cuenta la información presentada en la figura 2.11.

2.4.- Matriz de cambio de uso de suelo

En esta investigación, se utilizará la matriz de uso de suelo para identificar las áreas que están siendo reemplazadas por la agricultura, así como para determinar las regiones del estado de Michoacán donde la agricultura está experimentando una mayor expansión. A continuación, se muestra paso a paso la elaboración de la matriz de cambio de uso de suelo (MasterGis, 2023).

Lo primero que se tiene que hacer es identificar los dos periodos a trabajar. Para facilitar la explicación, se supondrá un tiempo pasado ($t-1$) y un tiempo presente (t). Posteriormente, se le asigna un valor a cada uno de los tipos de suelo. Donde el tipo de suelo pasado irá de decena en decena, mientras que los tipos de suelo del tiempo presente irán de unidad en unidad (figura 2.12).

Figura 2.12:

Datos sobre los tipos de suelo

Tiempo pasado ($t-1$)	Código
Tipo de suelo 1	10
Tipo de suelo 2	20
Tipo de suelo 3	30

Tiempo presente (t)	Código
Tipo de suelo 1	1
Tipo de suelo 2	2
Tipo de suelo 3	3

Elaboración propia.

Una vez que se ha asignado un valor a los tipos de suelo de ambos periodos de tiempo, se procede a elaborar una matriz llamada matriz de cambio de uso de suelo. Esta matriz debe contener la misma cantidad de filas que el número de tipos de suelo del periodo pasado, y la misma cantidad de columnas que el número de tipos de suelo en el periodo presente. En el caso de este ejemplo, la matriz creada será de tamaño 3x3.

Para conformar la matriz, se sumarán los valores asignados al periodo pasado ($t-1$) con los valores asignados al periodo presente (t), tal y como se muestra en la Figura 2.13.

Figura 2.13:

Matriz de cambio de uso de suelo

	Tipo de suelo 1 (t)	Tipo de suelo 2 (t)	Tipo de suelo 3 (t)
Tipo de suelo 1 (t-1)	11	12	13
Tipo de suelo 2 (t-1)	21	22	23
Tipo de suelo 3 (t-1)	31	32	33

Elaboración propia.

Los valores de la matriz de cambio de uso de suelo se deberán de interpretar de la siguiente manera. La decena del valor corresponderá al tipo de suelo en el tiempo pasado y la unidad será el tipo de suelo por el cual fue remplazado en el presente. Por ejemplo, en el valor 32 significa que anteriormente ahí existía un tipo de suelo 3 y en el presente fue remplazado por el tipo de suelo 2.

Es importante destacar que, si bien para este ejemplo la matriz de cambio de uso de suelo es una matriz cuadrada, no es un requisito que lo sea. Esto se debe a que se pueden analizar diferentes tipos de suelo en el pasado y en el presente.

Posteriormente, se deben de encontrar capas de información geográfica que contengan datos sobre el tipo de uso de suelo, tanto en el periodo de tiempo pasado como en el periodo de tiempo presente, del espacio geográfico el cual se está analizando.

En el programa de información geográfica ArcMap se debe agregar una columna nueva a cada una de las capas. Esta deberá de asignar el valor que corresponde a cada uno de los polígonos de las capas. Por ejemplo, en la capa del tiempo pasado (t-1) se debe crear una columna nueva donde a todos los polígonos de tipo de suelo 1 se les asigne el valor de 10, a los de tipo de suelo 2 el valor de 20 y a los correspondientes de tipo de suelo 3 el valor de 30. Mientras que en la capa del tiempo presente (t) se debe crear una nueva columna donde a todos los polígonos de tipo de suelo 1 se les asigne el valor de 1, a los de tipo de suelo 2 el valor de 2 y a los de tipo de suelo 3 el valor de 3. Cabe resaltar que esta operación se puede realizar de forma rápida a través de la herramienta selección por atributos y con la calculadora de campos disponible en el programa anteriormente mencionado.

Una vez realizado lo anterior, se procede a crear una nueva capa con la información de la intercepción que hay entre los polígonos del tiempo pasado (t-1) y los

polígonos del tiempo presente (t). Esto se realiza a través de la función de intercepción del programa ArcMap. En donde se deben de cargar ambas capas y automáticamente, por medio de esta herramienta crea la nueva capa. Esta contendrá en cada uno de los polígonos la información tanto del valor asignado en la columna de tiempo pasado (t-1) en una nueva columna, como el valor asignado de la columna de tiempo presente (t) en otra columna nueva.

Posteriormente, se debe crear una nueva columna en la nueva capa. Esta columna asignará a cada uno de los polígonos el valor que resulte de sumar el valor asignado en la columna de tiempo pasado (t-1) más el valor de la columna de tiempo presente (t). El resultado de esta suma arrojará a cada uno de los polígonos cualquier número que esté presente dentro de la matriz de cambio de uso de suelo previamente diseñada. Con este resultado, se podrá determinar qué tipo de suelo existía anteriormente y por cuál tipo de suelo fue remplazado.

Por último, si se desea calcular el área de cualquiera de las categorías en la matriz de cambio de uso de suelo, se debe de recurrir a la calculadora de campos del programa ArcMap para calcular el área de cada uno de los polígonos. Posteriormente, se puede recurrir a programas como Excel o R para por medio de filtrado de datos conocer el área total de cada una de las categorías.

Capítulo 3.- El cambio propiciado por la apertura comercial en la agricultura

Este capítulo busca retomar la última parte del primer capítulo y aterrizarla a la realidad contemporánea de México. Es decir, se expondrán las características que ha tenido la apertura comercial en México y cómo esta ha determinado el papel que México juega en la estructura mundial de producción agrícola.

El capítulo inicia con una breve descripción de los tres modelos de integración al mercado internación por los cuales ha pasado México a través del tiempo. Estos son, el modelo primario exportador, el modelo de sustitución de importaciones y el modelo neoliberal.

Durante los primeros años del periodo neoliberal en México, el mundo fue testigo de un fenómeno que fue capaz de influir globalmente en términos políticos, sociales, culturales, económicos y religiosos, conocido como globalización. La integración de los países en esta dinámica del capitalismo global está determinada por los intereses de las empresas transnacionales y los organismos supranacionales. En el caso de la agricultura dentro de la globalización, sus patrones de producción están determinados por las relaciones de dominación presentes en la dinámica del capitalismo global.

Es durante la globalización que emerge en 2008 una crisis financiera, la cual tuvo repercusiones a escala mundial. Uno de los principales efectos de esta fue el incremento de los precios agrícolas, lo que agravó la crisis alimentaria que se experimentaba en ese momento. Esta situación provocó una deslocalización del capital, la cual consiste en una migración del capital agrícola que se encontraba en los países dominantes hacia los países dependientes.

Esta deslocalización de capitales provocó una reestructuración de la agricultura global. Por un lado, los países dominantes mantienen su seguridad alimentaria a través de la producción de granos básicos y de políticas proteccionistas para estos; mientras que los países dependientes vieron desplazada su producción familiar por patrones de producción agroindustriales centrados en la producción de cultivos no esenciales destinados a la exportación.

Esta producción agrícola centrada en los agronegocios ha presentado aspectos económicos positivos como lo son, el aumento del valor de la producción, de la productividad de la tierra y de las exportaciones. Por otro lado, también ha generado efectos negativos multidimensionales tales como son, la concentración de ingresos en una oligarquía, el acaparamiento de las tierras fértiles, el desplazamiento de productores familiares y campesinos, la erosión de los suelos y alteración de los ciclos del agua.

Aunque todos los efectos mencionados anteriormente son importantes, esta investigación se centra exclusivamente en abordar los problemas relacionados con la crisis hídrica. Es importante destacar que, si bien la problemática hídrica actual puede dividirse en problemas de falta de agua y contaminación, esta investigación se enfoca únicamente en el primero de ellos.

El problema de la falta de disponibilidad de agua es definido en esta investigación como la situación en la que el consumo de agua supera la tasa de recarga de los recursos hídricos. En este sentido, la agricultura surge como una actividad importante para esta problemática, esto debido a que es la actividad que más agua consume a nivel mundial. Por lo tanto, la intensa demanda de agua por parte de la agricultura contribuye significativamente a la presión sobre los recursos hídricos.

El agua es de extrema importancia, debido a que esta es un elemento vital para la reproducción de la vida y para la producción de mercancías. En cuanto al sistema hipotético elaborado a lo largo del capítulo uno, este señala de manera explícita que la existencia del sistema hídrico permite la existencia del subsistema agrícola.

Para concluir el capítulo, se retoma todo lo expuesto anteriormente para exponer un panorama general tanto de las características de la agricultura como del problema de la falta de disponibilidad de agua en México.

En cuanto a la agricultura en México, la información obtenida sugiere que los medios de producción se encuentran concentrados en pocas manos, mientras que el salario que reciben la gran mayoría de campesinos es de hasta un salario mínimo o no perciben ingresos. Por otro lado, a través del tiempo se ha presentado un crecimiento de

la superficie sembrada, de la intensidad con la que esta se trabaja y del valor de las exportaciones agrícolas.

Por otro lado, en México, la actividad que consume el mayor volumen de agua es la agricultura, representando el 76% del total de agua extraída en el país, mientras que el 57% se desperdicia debido a problemas de infraestructura. Esta situación es alarmante considerando que gran parte de las cuencas y acuíferos de México enfrentan problemas de falta de disponibilidad de agua, especialmente en el norte y el centro del país.

3.1.- Integración de México al mercado internacional

México no siempre ha tenido la misma estrategia para incorporarse al mercado internacional, se reconocen al menos tres modelos principales por los que México ha pasado a través de los años, los cuales son, el modelo primario exportador, el modelo de sustitución de importaciones y el modelo neoliberal.

3.1.1.- El modelo primario exportador

El modelo primario exportador emerge de la caída de la teoría planteada en el “manifiesto no comunista” de Rostow, el cual señala que si un país quería llegar a una situación semejante a la de los países industrializados tenía que pasar por 5 etapas (la sociedad tradicional, la formación de precondiciones del despegue, el despegue, la marcha hacia la madurez y la época del consumo en masa) (Arasa y Andreu,1999).

El modelo primario exportador se aplicó en gran parte de América Latina, incluyendo México, hecho histórico que comprende aproximadamente desde el año 1850 hasta el año de 1930. Este periodo significó para Latinoamérica una especialización en la producción y exportación de productos primarios, se tenía la creencia de que el motor de la economía eran las exportaciones. Por lo tanto, si los países latinoamericanos, y en general los países dependientes, se especializaban en la exportación de materias primas; los países dominantes se dedicaban a exportar manufacturas (Guillén, 2008).

En este momento es visible la relación de dominación. Los países se alinean a una división internacional del trabajo, donde los países dependientes vuelven super

especializada y super homogénea la producción nacional con el propósito de insertarse al mercado internacional; mientras que los países dominantes vuelven heterogéneas y bien desarrolladas sus producciones comerciando principalmente manufacturas. La dominación de los países dominantes sobre los países dependientes es el resultado de la implementación del modelo primario exportador.

El inicio de la segunda guerra mundial y la crisis de 1929 marca el comienzo de la decadencia del modelo primario exportador, debido a que con estos acontecimientos históricos los países dominantes se vieron debilitados. Lo que permitió que existiera una escasez de bienes y servicios ofrecidos a los países dependientes (Maggio, 2017).

Quien reveló lo anterior fue el economista argentino Raúl Prebisch, fundador del estructuralismo latinoamericano. Esta visión estructuralista fue conocida como pensamiento cepalino, aunque en la actualidad este es totalmente diferente, y marcó la pauta para la transición hacia el nuevo modelo de integración en México y en América Latina. Lo anterior debido a que su propuesta para romper con la dominación que ejercían los países dominantes era la industrialización de los países dependientes, este autor señala a estos países como periféricos, y una serie de reformas impuestas desde el Estado para proteger la producción nacional. Cabe señalar que este es un enfoque claramente keynesiano, muy diferente a la alternativa propuesta desde la teoría de la dependencia de corte marxista (Gutiérrez Garza y González Gaudiano, 2010).

3.1.2.- Modelo de sustitución de importaciones

El modelo de sustitución de importaciones es un periodo histórico que data desde el año de 1930 hasta el año de 1982. La caída del modelo primario exportador no solo significó el nacimiento del modelo de sustitución de importaciones en México, también significó la caída del liberalismo económico en todo el mundo (Guillén, 2008).

El objetivo del modelo de sustitución de importaciones era romper con la dominación que ejercían los países dominantes sobre los países dependientes mediante la división internacional del trabajo. Es decir, mediante la industrialización de Latinoamérica se dejarían de importar las manufacturas provenientes de países dominantes ya que estas se producirían dentro de los países dependientes, de esta

manera se sustituían las importaciones de manufacturas. Lo anterior define el nombre de este modelo.

Es importante señalar que se puede observar cómo en este periodo de tiempo la industrialización era vista como la vía para llegar al desarrollo. Es decir, el proceso de industrialización era el camino para llegar a una sociedad deseada.

Todo este proceso se vio truncado por los siguientes tres diferentes factores (Maggio, 2017):

El primer factor tiene que ver con la falta de bienes de capital por parte de los países dependientes. Esta condición provocó que estos se vieran en la necesidad de importar bienes de capital desde los países dominantes. Lo anterior provocó que los países dominantes ahora ejercían dominación en ese aspecto, además de que les vendían máquinas obsoletas.

El segundo factor fue que el proteccionismo de los países dependientes provocó oligopolios en su estructura productiva nacional. Esto provocó poca innovación en la industria y concentración de la riqueza en la burguesía nacional.

El tercer factor fue el fracaso de impulsar el mercado interno en los países dependientes. En la industrialización la producción y la oferta de manufacturas aumentó en los países dependientes, lamentablemente la demanda no lo hizo de la misma manera. Esto debido a la desigualdad interna, no solo del ingreso, que vivía la población, misma que incrementó con este modelo.

3.1.3.- El neoliberalismo

El modelo neoliberal es un periodo histórico que data desde el año de 1982 hasta la actualidad (Guillén, 2008). La caída del modelo de sustitución de importaciones significó muchas cosas, la más evidente es que nace el modelo neoliberal. Es decir, se vuelven a adoptar políticas de liberalización económica. También significa en especial para México una crisis de la deuda externa de la cual es posible que nunca se haya llegado a recuperar por completo, este periodo es conocido coloquialmente como la década perdida. Por último, también significa la caída del estructuralismo latinoamericano, lo cual implica el fracaso de la heterodoxia por contener la inflación de

toda América Latina, y el eventual surgimiento del post estructuralismo latinoamericano, lo que significa el regreso de la ortodoxia a toda América Latina; con lo cual el pensamiento dominante en la CEPAL pasa de ser heterodoxo a ortodoxo (Rodríguez, 2006).

Este panorama de crisis en México y en América latina llamó la atención de los países aliados de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), principalmente de Estados Unidos de América, el cual por medio del Fondo Monetario Internacional (FMI), el Banco Mundial (BM) y el Departamento del Tesoro de los Estados Unidos de América (el consenso de Washington) emitieron algunas recomendaciones para ayudar a salir a toda América Latina de esa crisis (Gutián, et al.,1999).

El hecho de que Estados Unidos se haya fijado en América Latina tiene que ver con el contexto de la guerra fría. Lo anterior suponiendo que durante principios de la década de los ochenta el intento de Estado del bienestar Implementado en la región entró en crisis y esto pudo ser la oportunidad para alejar una posible “amenaza socialista gestándose en el sur” de Estados Unidos.

Las recomendaciones que el consenso de Washington emitió fueron son las siguientes (Martínez Rangel y Reyes Garmendia, 2012):

Disciplina fiscal: lo cual consiste a grandes rasgos en que los países de Latino América debían de mantener un presupuesto equilibrado donde se evitará a toda costa caer en déficit fiscales grandes y sostenidos.

La reordenación de las prioridades del gasto público: la cual señala que para evitar el déficit del sector público se debía de reducir y redireccionar el gasto público. Es decir, eliminar algunos subsidios otorgados principalmente a empresas paraestatales y direccionar ese gasto público a otras estrategias de carácter social.

La reforma fiscal: con la cual se buscaba aumentar la carga y la base tributaria al mismo tiempo que se reducida el gasto público. Esto permitiría remediar el déficit presupuestal.

La liberalización financiera: la recomendación se divide en dos: por un lado, la tasa de interés debería de estar determinada por el mercado, esto debido a que el sector

público no era eficiente a la hora de determinar la tasa de interés, porque este la establecía con base a criterios arbitrarios; por otro lado, la tasa de interés real debería ser positiva, a fin de disuadir la evasión de capitales y para incrementar el ahorro.

El tipo de cambio competitivo: este era necesario debido a que según el consenso de Washington se necesitaba una política que permitiera el incremento de las exportaciones para que América Latina pudiera recuperarse. Por lo tanto, los países debían de mantener un tipo de cambio competitivo, que brindara seguridad a los negocios de invertir en las industrias orientadas a la exportación.

La liberación del comercio: a grandes rasgos esta recomendación consistía en la sustitución del sistema de permisos de importación por aranceles; de la misma manera se debía de liberalizar la importación de materias primas utilizadas en el proceso de producción de mercancías destinadas al comercio exterior. Es importante señalar que parecía ampliamente aceptada la idea de que al pasar del tiempo los aranceles tenían que irse reduciendo.

La liberalización de la inversión extranjera directa: esta señala que se debía de liberalizar la entrada de Inversión Extranjera Directa (IED) porque esta podía aportar capital, tecnología y experiencia a los procesos de producción de mercancías destinadas para el mercado local y para ser competitivos en el mercado internacional.

Las privatizaciones: esta por una parte señalaba que la privatización podía ayudar en las finanzas públicas debido a que se obtienen ingresos derivados de la venta de la empresa y porque el gobierno ya no tendría que gastar en mantener esa empresa. Lo anterior provocaría una liberación de recursos los cuales podían ser destinados a áreas de carácter social.

La desregulación: esta recomendación está vinculada directamente con la recomendación de privatización, esto debido a que la venta de paraestatales hacia los inversionistas nacionales y extranjeros necesitaba de la creación y modificación de leyes que lo permitieran.

Los derechos de propiedad: esta recomendación se basa en el supuesto de que el capitalismo necesita derechos de propiedad bien definidos. Dentro del consenso de

Washington se pensaba que en América Latina los derechos de propiedad no estaban bien definidos. Es por esto que invitaba a definirlos.

Estos consejos básicamente y a muy grandes rasgos buscaban eliminar la regulación existente en los países latinoamericanos para implementar el libre mercado y por medio de este ligar a estos países a la dinámica del capitalismo global.

3.2.- Globalización

Como se mencionó en el apartado anterior, la llegada del neoliberalismo por medio de las políticas sugeridas por el consenso de Washington provocó la entrada de México a la globalización.

A partir de 1985 comenzó una nueva etapa en la globalización, misma que está vigente hasta la actualidad. Esta consiste en la expansión global de los capitales financieros y en la expansión de una cultura hegemónica global (Cuervo, 2006).

La globalización no es un fenómeno exclusivamente económico, ni tampoco actúa de manera homogénea en todos los territorios del mundo. La globalización es un fenómeno político, social, cultural, económico y religioso, donde las características particulares de cada uno de los territorios determinarán su comportamiento y la manera en la que se insertan en la dinámica global (Gallicchio, 2003).

La globalización puede moldear, por un lado, las instituciones informales, también conocidas como evolucionadas, por medio de la penetración de una cultura dominante en los territorios. Por otro lado, también puede modificar las instituciones formales, también conocidas como creadas, mediante la creación de un marco jurídico que legitime y favorezca los procesos de expansión del capital global (North, 1993).

Con respecto a lo anterior, todos los territorios son diferentes, cada uno posee características, económicas, sociales, culturales, naturales, históricas y geográficas diferentes, estas son determinantes para que los territorios por medio de un proceso

endógeno autogestionen sus bienes para la producción y decidan cómo se insertarán a la globalización (Vázquez, 2007).

A lo anteriormente descrito se le debe sumar un factor extra, el cual es que los países no pueden autodeterminarse de forma complementa mente libre. Esto debido a que la globalización tuvo como consecuencia la creación de empresas transnacionales y organismos multilaterales mismas que influyen en la autodeterminación de los países (Morales Hernández, 2014). La influencia de estos sobre los países se menciona a continuación:

Por parte de los organismos multilaterales se encuentran: el Fondo Monetario Internacional (FMI), el Banco Mundial (BM) y la Organización Mundial de Comercio (OMC). El FMI Y el BM se encargan de condicionar prestamos financieros a los países que adaptan las políticas públicas que favorecen a los intereses de estos organismos. Mientras que la OMC se encarga de diseñar el marco jurídico con el que deberá de operar el comercio mundial.

Las empresas transnacionales son organismos que se mueven hacia donde las condiciones de producción y operación sean más favorables, por lo general buscan países donde la mano de obra sea barata, obtengan beneficios fiscales y donde las políticas de conservación ecológica sean menos duras.

Usando los conceptos elaborados por los teóricos de la dependencia, se puede identificar en lo anteriormente mencionado la existencia de países dominantes y países dependientes. La relación entre ellos determina los patrones de producción y las formas de acumulación de capital impulsadas por la burguesía (Gutiérrez Garza y González Gaudiano, 2010).

Todo esto se vincula al primer capítulo de esta investigación donde se revisa la teoría de la dependencia. Es importante señalar que el planteamiento realizado por la teoría de la dependencia puede utilizarse para entender el comportamiento de la agricultura mundial.

La producción agrícola de las naciones dependientes ven más atractivo, monetariamente hablando, producir alimentos para la exportación que producir para

satisfacer el consumo interno. Por lo tanto, este último queda abandonado, poniendo en riesgo la soberanía alimentaria de la nación. Un ejemplo de lo anterior es que la producción agrícola de los países dependientes destinada a la exportación está en su mayoría conformada por frutas, hortalizas y materias primas para fabricar biocombustibles (Morales Hernández, 2014).

Las transnacionales al notar el descuido del mercado interno de estos países aprovechan para comerciar en esos mercados nacionales descuidados, sus granos básicos y productos agrícolas indispensables.

Mientras los países dependientes se preocupan por la competitividad de sus productos agrícolas, no esenciales, en el mercado global; los países dominantes imponen medidas proteccionistas para la producción y comercialización de sus granos básicos. Lo cual es lo contrario al libre mercado global que ellos “impulsan” en todo el mundo (Morales Hernández, 2014).

3.3.-Crisis del 2008 la reestructura del campo

El apartado anterior es de vital importancia, debido a que expone cómo se articula la división social del trabajo internacional entre los países dominantes y los países dependientes (incluyendo a México) a nivel general y en la producción agrícola. En este apartado se buscará analizar el cambio en la estructura interna de los países derivado de la crisis financiera del 2008 y la aparición de la agroindustria en los países dependientes.

Por su puesto la crisis del 2008 no es la primera ni la única crisis durante el periodo de la globalización de capitales financieros y de la expansión de una cultura hegemónica global que inició en 1985 y que es vigente hasta nuestros días (Cuervo, 2006). En este periodo de tiempo han existido más crisis económicas como por ejemplo las vividas en México, Rusia, Brasil y Argentina que tuvieron lugar en 1995 y 1999 respectivamente, estas pudieron ser síntomas de la crisis financiera que se estaba gestando y que explotaría en los países dominantes en 2008 (Vergopoulos, 2001).

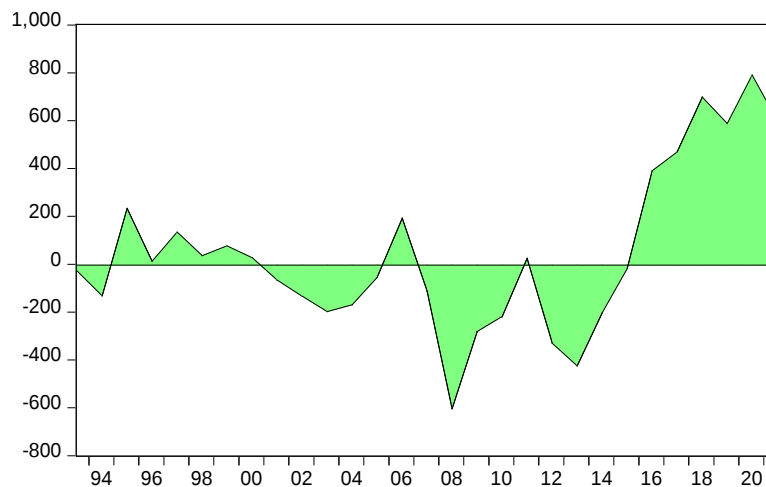
La crisis financiera comenzó a finales del 2008 con la caída de Lehman Brothers en Estados Unidos. Esta inició afectando a las instituciones financieras de ese país, pero los efectos de esta fueron heterogéneos, afectando a muchas actividades económicas, como la agricultura, para posteriormente expandirse rápidamente por todo el mundo. La globalización, más concretamente la financiarización del capital, ayudó a este país a transferir los problemas a Europa principalmente, pero también a Asia y América Latina. Cabe resaltar que en gran parte del mundo hasta el año de 2014 aún se vivían estragos generados por esta gran crisis financiera (Basurto Hernández y Escalante Semerena, 2012).

Para países dependientes como México y en general para toda América Latina, la crisis financiera tuvo un efecto muy duro. Debido a que durante esta los países dominantes habían sido duramente golpeados, lo cual mermaba su interés por importar. Lo cual tuvo como consecuencia una disminución en el crecimiento económico de los países dominados, esto debido a que el crecimiento económico de estos depende en gran medida de la exportación de sus productos y esta a su vez depende, entre muchos factores, de la preferencia y de la capacidad de compra de los países dominantes.

La crisis financiera del 2008 tuvo efectos sobre los precios internacionales de los productos agrícolas ya que estos se elevaron, lo que provocó que se agravara la crisis alimentaria que en esos tiempos se estaba atravesando (Rubio, 2014). Cabe resaltar que cuando se alcanzó la cúspide de la crisis alimentaria, paradójicamente los países dominantes, como lo son Estados Unidos de América, que impulsaban y promovían junto a organismos supranacionales la globalización, tenían problemas derivados del libre mercado; lo cual los orilló a reducir el comercio internacional para reestructurar el mercado interno (Vergopoulos, 2014).

Figura 3.1:

Balanza Agroalimentaria de México en 2021 (Millones de dólares)



Elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2021).

En la figura 3.1 se puede observar cómo a partir del año 2008 se entra en un constante déficit de la balanza agroalimentaria, probablemente provocado por dos razones principales. La primera, probablemente este fenómeno haya tenido lugar debido al debilitamiento en la capacidad de compra de casi todos los países dominantes del planeta; la segunda, sumando a lo anterior estos países buscaron la manera de asegurar en primera instancia su seguridad alimentaria fortaleciendo su mercado interno.

Los países dominantes estaban tan acostumbrados a adquirir importaciones agrícolas baratas de los países dominados que llegaron a descuidar en buena medida su mercado interno y, por lo tanto, su soberanía alimentaria. Lo anterior llevó a los gobiernos de los países dominantes a crear políticas públicas que incentivarán la producción nacional de productos agrícolas (Bartra, 2014).

3.3.1.- Deslocalización del capital agrícola en los países dominantes

Lo anterior tuvo trabas importantes en esos países. Primero, algunos países cuentan con medidas ecológicas bastante estrictas, por lo tanto, algunas de las prácticas agrícolas están prohibidas; segundo, los salarios de la mano de obra en los países dominantes generalmente es elevado, en comparación con los países dependientes;

tercero, las condiciones naturales no son tan favorable como lo son en los territorios que se encuentran entre los trópicos; cuarto, algunos países no cuentan con la superficie agrícola necesaria para satisfacer la demanda de alimento a su población; y, por último, algunos no tienen el volumen de agua suficiente para mantener una producción agrícola que permita su seguridad alimentaria.

Lo anterior provocó que los capitales establecidos en los países dominantes decidieran deslocalizarse para dirigirse a los países dependientes. Esto debido a que los capitalistas agroindustriales internacionales encontraban beneficios y hasta en algunos casos incentivos para operar en estos países. Lo anterior ocasionó un ingreso extra proveniente de los excedentes comerciales por parte de los países dependientes a costa de los déficits comerciales de los países dominantes, mismo que al menos en el caso de México se puede observar en el gráfico 3.1 (Vergopoulos, 2014).

La deslocalización agrícola no es un fenómeno exclusivo de los países capitalistas de occidente. Los países que se encuentran en una posición de disputa por la hegemonía mundial, por ejemplo, en estos momentos China recurren a estas prácticas para evitar pagar renta a las comercializadoras de países antagónicos y para garantizar que los alimentos seguirán llegando a sus países aún si estalla un conflicto armado debido a que estarán protegidos ante un embargo comercial (Rubio, 2014).

3.3.2.- Desplazamiento de la forma de agricultura campesina y el surgimiento de la agroindustria

Es importante señalar que la deslocalización también tuvo un efecto sobre la estructura agrícola de los países dependientes, puesto que esta cambió radicalmente a partir de la crisis financiera del 2008 y la posterior crisis alimentaria en el mundo, cuando el capital agrícola proveniente de los países dominantes se postro en estos países provocó acaparamiento, concentración, financiarización y extranjerización del suelo (Bartra, 2014). Lo anterior provocó que se desplazará la forma de organización de la pequeña y mediana producción campesina, para sustituirla por la producción agroindustrial (Rubio, 2014) y (Bartra, 2014).

Para identificar la producción familiar existen principalmente dos criterios. El primero, el cual señala que la forma en la que se moviliza el trabajo es mayoritariamente

mediante los vínculos familiares; y el segundo, el dicta que los campesinos dependen sobre todo de sus propios medios de producción, incluyendo la tierra, más que de la venta de fuerza de trabajo (Piñeiro, D. y Cardellaic, 2014).

Lo anterior significó en gran parte de América Latina, incluyendo a México, pasar de una agricultura a una agroindustria. La agricultura no solo refleja simples técnicas de producción, sino que también refleja una cultura que está conectada a esta actividad por medio de la naturaleza ya que los agricultores dependen de esta para sobrevivir en el sentido de que esta dota de las condiciones naturales para la reproducción de la vida y que a su vez otorga las condiciones naturales necesarias para que estos a través del trabajo puedan generar mercancías que les permiten intercambiar por dinero para posteriormente adquirir otros satisfactores (Navarrete, 2017).

Cabe resaltar que la agroindustria enfoca la producción para el intercambio, en lugar de para el autoconsumo ya que su objetivo es maximizar la tasa de ganancia para con esto aumentar la acumulación de capital. Manteniendo durante todo este proceso relaciones seculares con la naturaleza y la sociedad (Martínez, 2004).

Otra característica de la agroindustria es que tiene encadenamientos productivos hacia adelante y hacia atrás. Los primeros se dan en el sentido de que se puede agregar valor a los productos agrícolas haciendo transformaciones más elaboradas de estos; mientras que los segundos se dan en la utilización de maquinaria, agroquímicos y biotecnología en el proceso de producción (Navarrete, 2017).

La aparición de la producción agroindustrial trajo consigo la formación de un sistema agroalimentario articulado a escala global. Este está conformado por la producción, el procesamiento industrial, la comercialización y distribución final productos agrícolas. Este tipo de estructura tiende a concentrar y centralizar el capital, lo cual favorece la creación de oligopolios en segmentos específicos del sistema agroalimentario. Por ejemplo, con las semillas transgénicas, estas son comercializadas solo por un oligopolio de empresas. La concentración de capital es tan abrumadora que solo diez empresas lideran la mayor parte de los agronegocios (Navarrete, 2017).

3.4.- La relación entre la agricultura y la falta de disponibilidad de agua

Cabe resaltar que desde cierta perspectiva los agronegocios tienen efectos económicos positivos, debido a que estos aumentan el valor de la producción, la productividad de la tierra y duplican las exportaciones, pero desde otras perspectivas los agronegocios tienen efectos negativos multidimensionales, como lo son la concentración de ingresos en una oligarquía, el acaparamiento de las tierras fértiles, el desplazamiento de productores familiares y campesinos, la erosión de los suelos, alteración de los ciclos del agua, entre muchos otros (Piñeiro, D. y Cardellaic, 2014).

Esta investigación reconoce la complejidad de esta problemática, pero trata de acotar el tema únicamente a lo referente al problema hídrico. La agricultura actual, la cual algunos autores señalan como agroindustrial, está íntimamente ligada a los problemas hídricos. La problemática es tal, que el 70% de la extracción de agua en el mundo es utilizada en la agricultura, esto es alarmante si se toma en cuenta que el mundo se encuentra sumergido en una escasez de agua dulce (Rey, 2010).

El agua es un recurso fundamental ya que todos los seres vivos necesitan de ella para sobrevivir. A pesar de que el agua es un recurso abundante debido a que el 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, solo el 2.5% es agua dulce, el otro 97.5% es agua salada. El agua dulce está dividida de la siguiente forma: el 69% del agua dulce se encuentra congelada en los polos y en las cimas de las montañas más altas, el 30% se encuentra en la humedad del suelo y en los acuíferos profundos y solo el 1% se encuentra en ríos y arroyos que depositan el agua en lagos, lagunas, cuerpos acuíferos y otros cuerpos superficiales de agua (Junta municipal de agua potable y alcantarillado de Mazatlán, (2022).

Por lo anterior, se puede constatar que el agua dulce de fácil acceso para los seres humanos y otras especies es escasa. Este recurso vital se encuentra amenazado principalmente por factores de origen antrópico. Esta situación pone en peligro la vida en los ecosistemas, incluyendo la del ser humano, y la creación de mercancías que satisfacen las necesidades humanas. Especialistas diagnostican que para 2025 dos

terceras partes de la humanidad sufrirá algún tipo de estrés por la ausencia de agua (Toledo, 2002).

El problema hídrico puede dividirse en problemas de disponibilidad y problemas de contaminación de cuerpos de agua. Para esta investigación se analizará solo el problema de la disponibilidad de agua, aunque se reconoce que el problema hídrico va más allá de esta. Es importante señalar que la falta de disponibilidad de agua en esta investigación es definida como una situación donde el consumo de agua supera su recarga.

3.5.- La agricultura en México y su relación con la falta de disponibilidad de agua

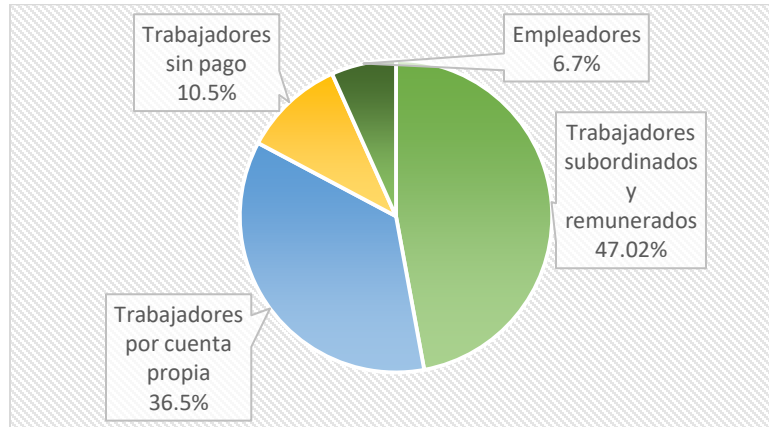
En este apartado se buscan exponer de manera general datos sobre la agricultura en México y sobre su relación con la falta de disponibilidad de agua en el territorio. Esto con el fin de encontrar espacialmente dónde se encuentran los lugares más afectados por esta problemática.

3.5.1.- La agricultura en México

La agricultura en los países dependientes sufrió un cambio en los patrones de producción agrícola. El cual fue provocado por el desplazamiento de la producción agrícola familiar por una producción agrícola industrializada. Una de las características de esta nueva agricultura es la concentración de tierras y capital sobre las manos de una oligarquía. Es por eso que a continuación se muestra la diversidad en cuanto a la posición del trabajo agrícola y pesquero en México, esto con el fin de identificar la magnitud de la concentración de tierras y capital.

Figura 3.2:

Perfil de los trabajadores agropecuarios y pesqueros (posición en el trabajo) en México 2020.

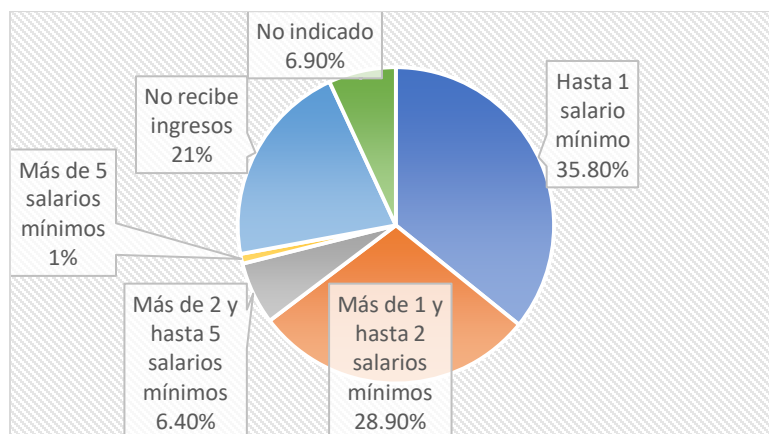


Elaboración propia con datos del SIAP (2022) a.

En la figura 3.2 se puede observar de manera clara como la tierra y el capital se concentra en una oligarquía, ya que solo 6.7% de las personas son empleadoras en el ámbito rural. Esta información sugiere que la mayor parte de las personas que viven y trabajan en este medio no poseen los medios de producción.

Figura 3.3:

Ingreso mensual por trabajo agropecuario y pesquero en México 2020.



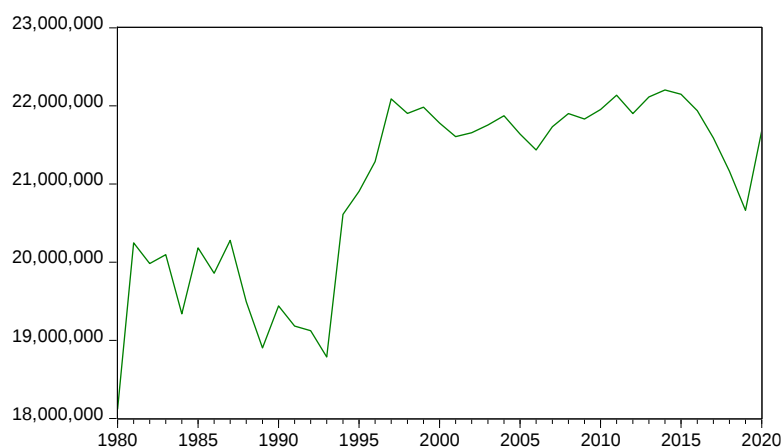
Elaboración propia con datos del SIAP (2022) a.

Por otro lado, en la figura 3.3 se puede observar la precarización laboral del campo en México. La mayor parte de los trabajadores pesqueros y agropecuarios reciben solo hasta un salario mínimo, mientras que otra parte importante de los trabajadores no recibe ingresos. Únicamente el 1% de todos los trabajadores del campo en México reciben más de cinco salarios mínimos. Esto refleja la desigualdad y la concentración de ingresos que se da en estas actividades.

En cuanto al comportamiento que ha presentado la superficie agrícola en México, la figura 3.4 muestra que esta ha experimentado un incremento abrupto a mediados de la década de los noventa, pero no se presentó un cambio drástico para el periodo posterior a la crisis financiera del 2008. Lo anterior puede explicarse debido a que en México el acaparamiento de tierras por parte del capital extranjero es difícil, en comparación con otros países de América Latina, esto debido a que el país cuenta con una estructura agraria fragmentada y contiene restricciones legales a la entrada de capital extranjero (Rubio, 2014).

Figura 3.4:

Comportamiento histórico de la superficie agrícola (Ha) de México (1980-2020)



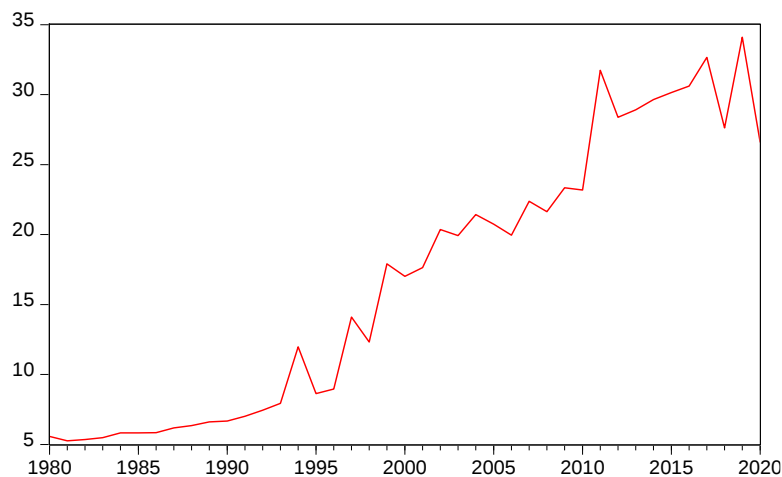
Elaboración propia con datos del SIAP (2022) b.

A pesar de que el capital extranjero en México ha encontrado trabas a la hora de poseer tierras, esto no lo detiene. Puede ser que este haya optado por promover patrones

de producción agrícola intensivos a través de la inversión en capital fijo y variable. Los cuales se caracterizan por incrementar la producción cultivos en una unidad reducida de tierra.

Figura 3.5:

Rendimiento por hectárea sembrada (Ton/Ha) en México (1980-2020)



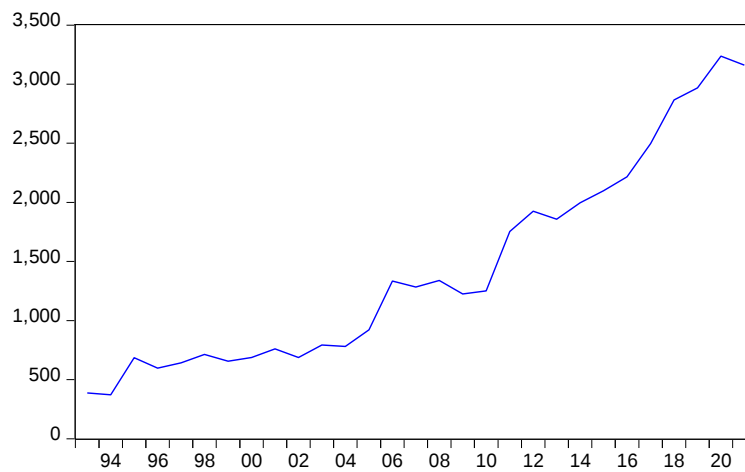
Elaboración propia con datos del SIAP (2022) b.

En la figura 3.5 se puede observar que la intensidad de la producción ha crecido bastante en México. Siendo de poco más de 5 toneladas por hectárea en los años ochenta, a más de 21 toneladas en el año 2008 y a más de 34 toneladas para el año 2019. Por otro lado, en el 2020 sufre una caída teniendo un rendimiento por hectárea de poco más de 26 toneladas, esto probablemente ocasionado por la pandemia del COVID 19. Lo anterior revela que la agricultura en México ha logrado a través de sus paquetes tecnológicos y forma de producción aumentar el rendimiento de la tierra volviéndola más productiva.

Por otro lado, anteriormente en este capítulo se mencionó que la producción agrícola actualmente existente en los países dependientes tiene como finalidad el incrementar la ganancia del capitalista agrario a través de la producción de cultivos de exportación. En el caso de México se puede observar un claro aumento de las exportaciones a partir de la liberación comercial de 1994 (figura 3.6).

Figura 3.6:

Exportaciones agroalimentarias de México 1994-2021 (Millones de dólares)



Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

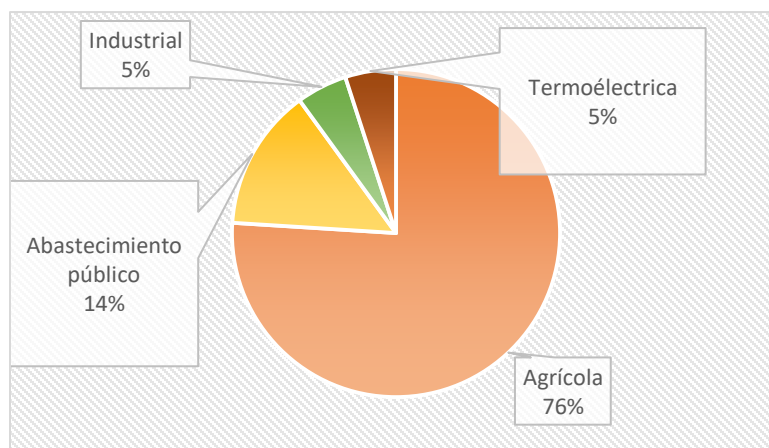
En la figura 3.6 se puede observar que las exportaciones han crecido bastante en los últimos años. Esto puede deberse a que en México se inicia una fase de apertura comercial en la década de los ochentas por medio del modelo neoliberal y posteriormente en la inserción al proceso de globalización, tal como se mencionó anteriormente en este capítulo. Cabe resaltar que la tendencia expuesta en la figura 3.6 se puede ver ligeramente más inclinada en los años posteriores a la crisis financiera del 2008, lo cual puede deberse a que la deslocalización de capitales, la cual pudo provocar un incremento en la producción de cultivos destinados a la exportación en México.

3.5.2.- La falta de disponibilidad de agua en México

El cambio que se vivió en la agricultura en los países dependientes donde se pasó de tener una producción familiar a tener patrones de producción agroindustriales provocó diversos efectos negativos sobre la naturaleza. Uno de los más importantes es el uso intensivo del agua con el que opera esta práctica.

Figura 3.7:

Usos del agua en México 2018.



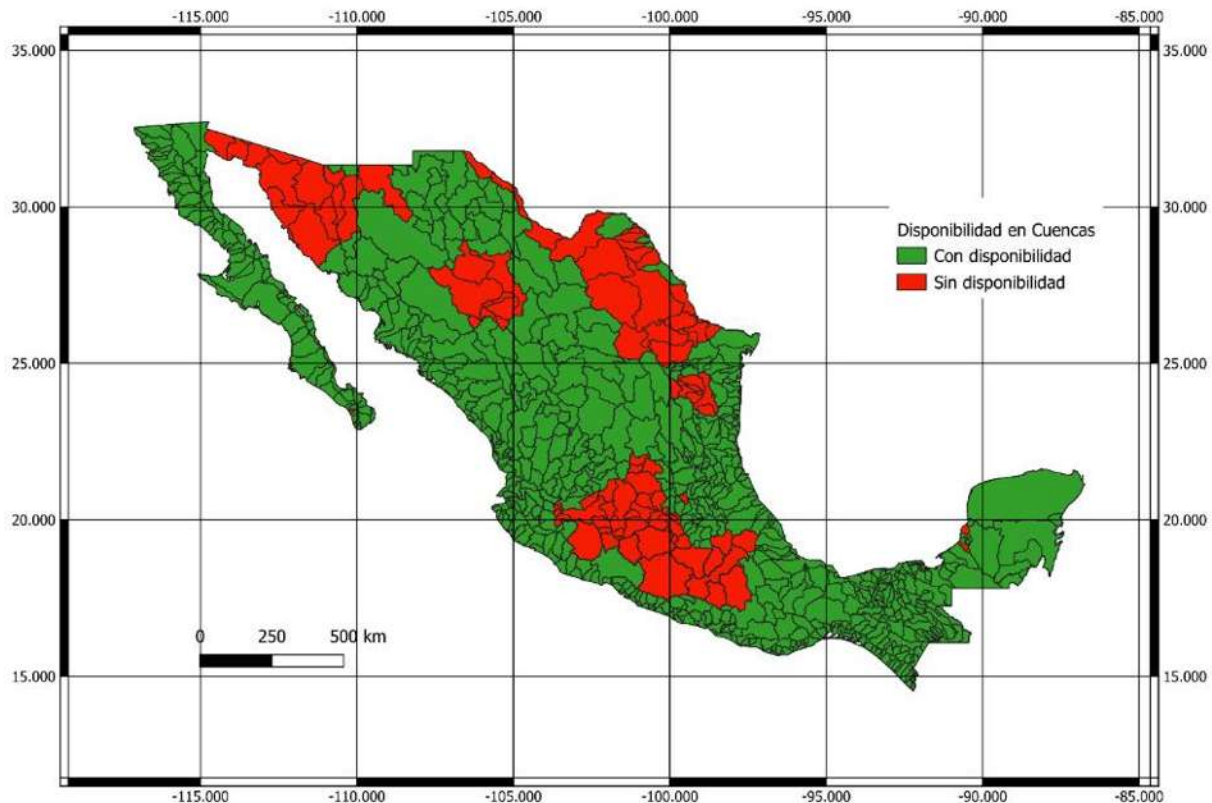
Elaboración propia con datos de Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2022).

En la figura 3.7 se puede observar que la mayor parte del agua extraída en el 2018 en México fue destinada hacia la agricultura, la cual consumió el 76% del agua extraída en ese año. La diferencia con respecto a los demás usos que se le da al agua en el país es muy grande, aún si se juntara el consumo de todos los demás usos del agua, no representaría ni la mitad de lo que consumió la agricultura. Esta actividad no solo es la que más agua consume en México, también es la que más agua desperdicia, ya que el 57% del agua utilizada en esta actividad es desperdiciada por problemas de infraestructura (UNAM, 2022).

Lo anterior es preocupante debido a que en estos momentos el mundo entero está pasando por problemas de falta de disponibilidad de agua. A continuación, se analizará la disponibilidad de agua en México.

Figura 3.8:

Cuencas con disponibilidad de agua en México 2020.



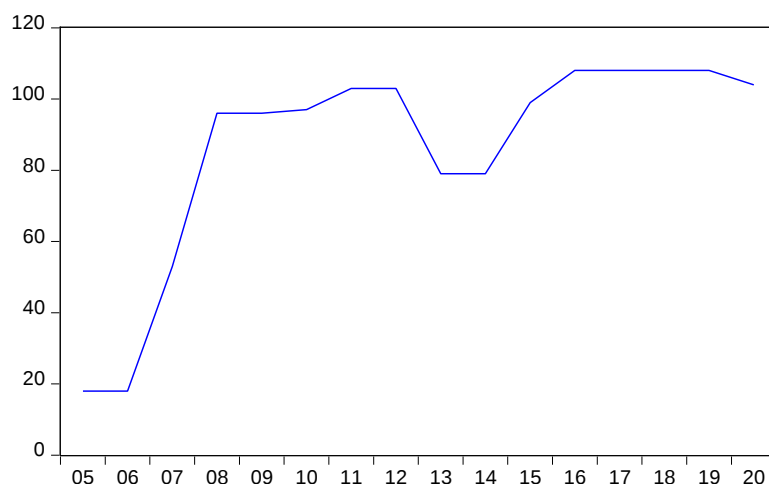
Elaboración propia con datos del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) (2022).

La disponibilidad de agua en las cuencas es problema serio. En México algunas cuencas hidrológicas están presentando falta de disponibilidad de agua. En la figura 3.8 se puede observar que las partes más afectadas del país son el noroeste, el noreste y el centro del país, donde se presenta una gran cantidad de cuencas hidrológicas con falta de disponibilidad de agua.

La cantidad de cuencas que presentan falta de disponibilidad en México han incrementado en los últimos años (figura 3.9).

Figura 3.9:

Comportamiento de las cuencas con déficit en México.



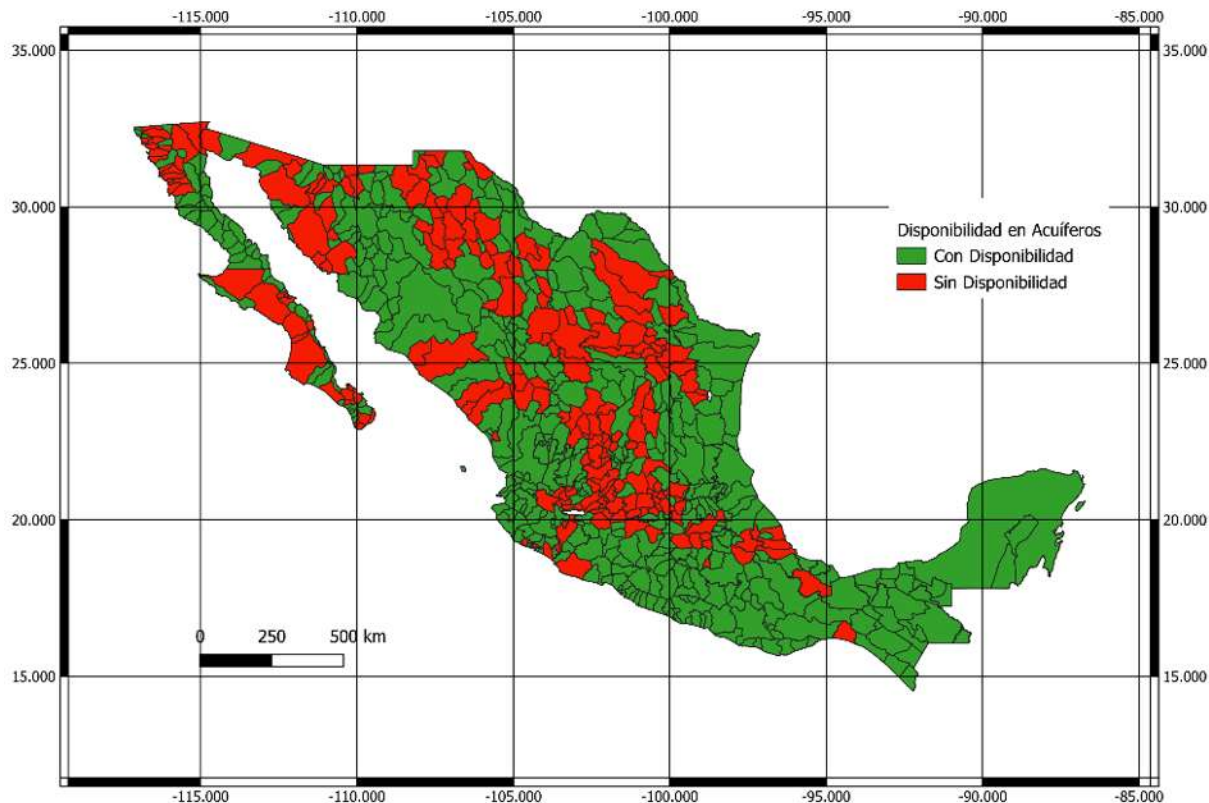
Elaboración propia con datos de SINA (2022).

Por medio de la Figura 3.9 se evidencia un notable aumento en el número de cuencas hidrológicas con falta de disponibilidad de agua, durante el período comprendido entre 2005 y 2020. En 2005, se registró que la cantidad de cuencas afectadas por la falta de disponibilidad de agua era inferior a 20. Sin embargo, para el año 2020, este número incrementó considerablemente, superando la cantidad de 100 cuencas hidrológicas con presencia de falta de disponibilidad de agua.

Este incremento significativo en la cantidad de cuencas hidrológicas con problemas de falta de disponibilidad de agua revela el problema que vive actualmente México con respecto a la disponibilidad de agua superficial. Por otro lado, la disponibilidad de agua subterránea parece sufrir una situación similar. México presenta una cantidad importante de acuíferos con problemas de falta de disponibilidad de agua distribuidos por gran parte del territorio (figura 3.10).

Figura 3.10:

Disponibilidad de agua en acuíferos de México en 2020



Elaboración propia con datos del SINA (2002) b.

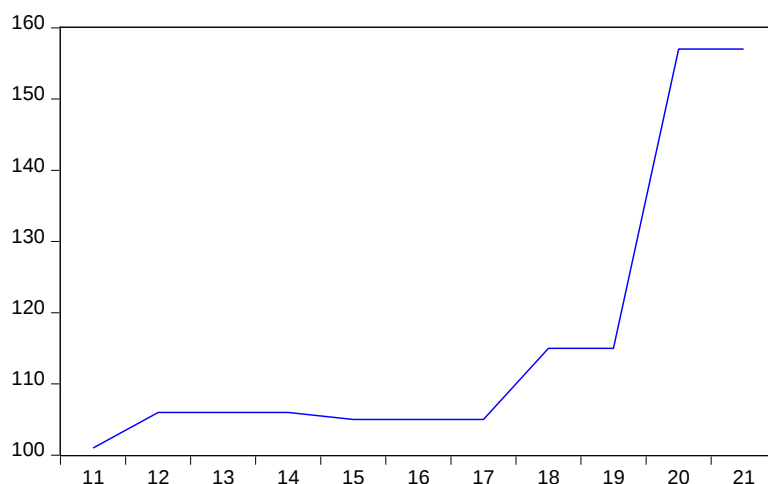
La figura 3.10 muestra un panorama aún más alarmante que la figura 3.9. Se puede observar que gran parte del territorio mexicano se encuentra con problemas de falta de disponibilidad de agua en sus acuíferos. La mayor presencia de acuíferos que presentan este problema se encuentra en el norte y en el centro del país.

Cabe resaltar que mientras que el norte y el centro del país presentan problemas de falta de disponibilidad de agua tanto superficial como subterránea, en la parte sur no se presentan problemas de falta de disponibilidad de agua de ningún tipo.

De la misma manera que las cuencas, cada vez son más los acuíferos que han presentado falta de disponibilidad de agua (figura 3.11).

Figura 3.11:

Acuíferos sobre explotados en México



Elaboración propia con datos del SINA (2022) b.

La figura 3.11 muestra que, en México durante el periodo de tiempo comprendido entre el 2011 y el 2021 la cantidad de acuíferos que presentaron problemas de falta de disponibilidad de agua se incrementó en más de 50%. Lo anterior revela el grave problema que sufre México en cuanto a la falta de disponibilidad de agua subterránea.

Aunque la disponibilidad de datos no permite observar el comportamiento histórico de las cuencas y los acuíferos durante el mismo período de tiempo, ambos han mostrado comportamientos similares. Esto revela un evidente problema de falta de disponibilidad de agua, tanto en las fuentes aguas superficiales como subterráneas, el cual se agrava con el paso del tiempo en el territorio mexicano.

Lo anterior revela la importancia del estudio de la relación entre la falta de disponibilidad de agua y la agricultura, esta última siendo la actividad que más agua consume en el país.

Capítulo 4.- Contexto socioeconómico y ambiental del área de estudio: la agricultura y el agua en Michoacán. Interacciones entre el sistema hídrico y el subsistema agrícola por medio de flujos hídricos en Michoacán

En este capítulo, se retoma lo planteado en el primer y tercer capítulo, tratando de conectarlo con el tema de investigación. A lo largo de este capítulo, se realiza un análisis superficial de la agricultura actualmente existente, así como de las cuencas hidrológicas y acuíferos en el estado de Michoacán.

Posteriormente, con la información recabada y con base en la sistematización planteada en la figura 1.16, se procede a definir el sistema hídrico y el subsistema agrícola de Michoacán.

El objetivo de este capítulo es elaborar, con base a lo anterior, una sistematización que permita revelar las relaciones existentes entre el problema de la falta de disponibilidad de agua y la agricultura en el estado de Michoacán.

Al inicio del capítulo se analizan los aspectos generales de la agricultura en Michoacán, en donde se abordan aspectos como lo son, la superficie agrícola, el rendimiento por hectárea, el valor de la producción y los diferentes tipos de cultivos, así como los mercados hacia donde estos se dirigen.

De este análisis se puede destacar que mientras que la superficie agrícola se mantiene relativamente constante a lo largo del tiempo, el rendimiento por hectárea muestra una tendencia irregular, donde se presentaron fluctuaciones bruscas tanto al alza como a la baja. A pesar de este comportamiento, el valor de la producción mostró una tendencia al alza sostenida a través del tiempo, la cual probablemente es consecuencia de un cambio en los cultivos producidos en Michoacán. Posiblemente el cambio en los cultivos esté enfocado en los frutales, esto debido a que estos representan el mayor valor de producción tanto en el mercado nacional como internacional en el estado de Michoacán.

Por otro lado, en cuanto al problema de la falta de disponibilidad de agua en el estado de Michoacán, este se analizó en dos categorías distintas. Por un lado, la falta de

disponibilidad de agua superficial, que se refiere a aquellas cuencas hidrológicas que presentan falta de disponibilidad de agua. Por otro lado, la falta de disponibilidad de agua subterránea, la cual es representada por medio de los acuíferos que presentan este problema hídrico.

Es importante destacar que la agricultura probablemente sea la principal responsable del problema de la falta de disponibilidad de agua en Michoacán. Esto debido a que esta actividad es responsable del consumo de la mayor parte del de agua tanto superficial como subterránea extraída en el estado. La situación se torna aún más alarmante si se toma en cuenta que los volúmenes de agua consumidos para la agricultura, tanto superficiales como subterráneos, muestran una tendencia al alza.

Este capítulo cierra con la definición del sistema hídrico y del subsistema agrícola de Michoacán y con la descripción de los intercambios de flujos hídricos que ocurren entre ellos. Completando de esta manera la sistematización.

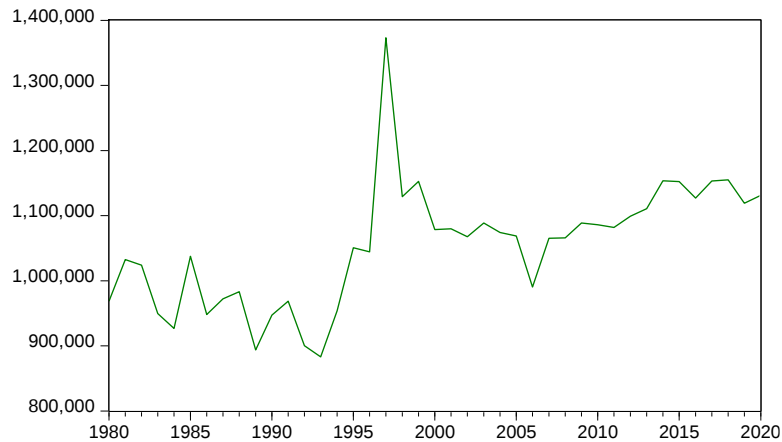
4.1.- Aspectos generales de la agricultura en Michoacán

En este apartado se analizan de manera superficial las principales características de la agricultura en el estado de Michoacán. Se analiza información acerca del comportamiento histórico de su superficie sembrada, de la intensidad con la que se trabaja la tierra, del valor de la producción agrícola y del mercado hacia el cual se dirigen los diferentes tipos de cultivos.

Comenzando por la superficie agrícola del estado de Michoacán, esta no ha experimentado aumentos exponenciales durante el periodo que abarca desde 1980 hasta 2020. Sin embargo, cabe resaltar que se observa un leve incremento entre el inicio y el final de este periodo de tiempo (figura 4.1).

Figura 4.1:

Comportamiento histórico de la superficie agrícola de Michoacán (1980-2020)



Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

Agricultura de riego y temporal

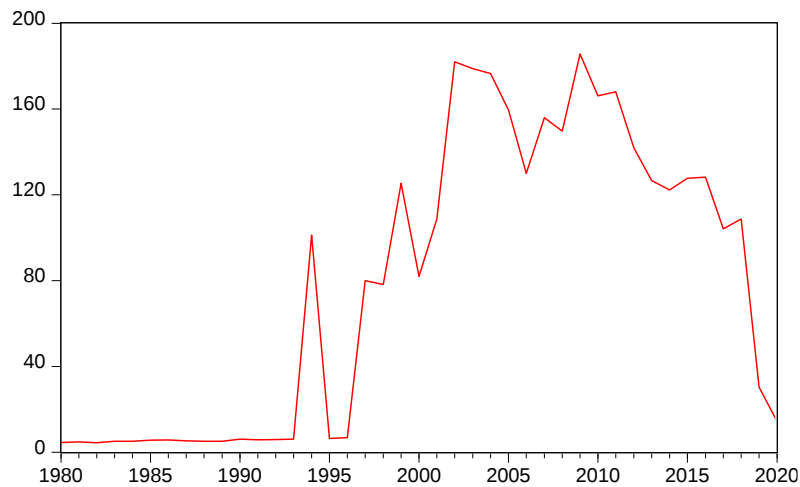
Ciclo: año agrícola y perennes

La figura 4.1 muestra que la superficie agrícola de Michoacán no ha experimentado un crecimiento significativo a lo largo de los años. En 1997, se registró la mayor extensión de superficie agrícola sembrada en Michoacán, alcanzando las 1,372,977 hectáreas. A partir de entonces, el comportamiento se ha mantenido más o menos constante.

Aunque la superficie agrícola de Michoacán no muestra crecimientos abruptos, el rendimiento de la productividad por hectárea es totalmente diferente. En el estado de Michoacán, la intensidad con la que se trabaja la tierra ha presentado una tendencia irregular a lo largo del tiempo, la cual está caracterizada por subidas y bajadas abruptas (figura 4.2).

Figura 4.2:

Rendimiento por hectárea sembrada (Ton/Ha) en Michoacán (1980-2020)



Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

Agricultura de riego y temporal

Ciclo: año agrícola y perennes

En la figura 4.2 se observa que la intensidad con la que se trabaja la tierra en Michoacán es considerablemente mayor que en el resto de México (figura 3.5). El rendimiento máximo por hectárea registrado en México fue de poco más de 34 toneladas, mientras que en Michoacán superó las 185 toneladas en 2009. Durante el periodo analizado, se puede observar una caída significativa a finales de la década de los dos mil, la cual se intensificó en 2019. Este declive en la productividad puede atribuirse a la pandemia del COVID-19, debido a su impacto negativo en los mercados internacionales, lo anterior posiblemente desincentivó la producción agrícola destinada a la exportación.

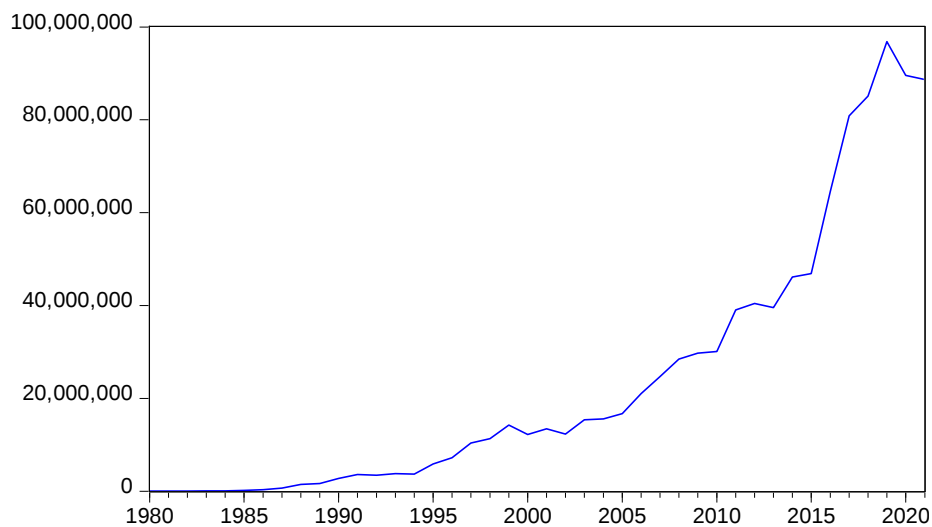
Los datos presentados en las figuras 4.1 y 4.2 revelan que Michoacán llegó a presentar una producción agrícola intensiva, donde se producían cantidades significativas de cultivos en reducidas extensiones de tierras.

Por otro lado, el valor de la producción agrícola muestra un comportamiento totalmente diferente al observado en las figuras 4.1 y 4.2. Mientras que la superficie agrícola permanece relativamente estable, sin cambios significativos a lo largo del

periodo de tiempo analizado, la productividad agrícola experimenta aumentos y descensos bruscos. En contraste, el valor de la producción agrícola ha experimentado un crecimiento importante que se ha mantenido constante a lo largo del tiempo.

Figura 4.3:

Valor de la producción agrícola (Miles de pesos) en Michoacán (1980-2021)



Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

Agricultura de riego y temporal

Ciclo: año agrícola y perennes

En la figura 4.3 se puede observar el crecimiento sostenido que ha experimentado el valor de la producción agrícola en Michoacán. Dentro del periodo analizado, se destacan dos intervalos interesantes. El primero abarca desde los inicios del neoliberalismo en México hasta la apertura comercial en 1994; si se toma como año base 1980 y como año final 1994, se puede determinar que el crecimiento del valor de la producción fue de 29,541.8541% para este intervalo. Por otro lado, el segundo intervalo comprende desde 2008, desde el inicio de la crisis financiera, hasta 2019, donde se evidencia un aumento del 240.5950% en el valor de la producción.

Es importante señalar que en los años 2020 y 2021 se registró una disminución en el valor de la producción agrícola en Michoacán, posiblemente provocada por la pandemia de COVID 19 que afectó a nivel global durante ese período.

El crecimiento experimentado en el valor de la producción agrícola de Michoacán puede ser explicado mediante el incremento en la superficie agrícola, el aumento en la producción o un cambio en los cultivos producidos. Como se mencionó anteriormente, la superficie agrícola del estado no ha experimentado cambios significativos, por lo cual puede descartarse. Por otro lado, el comportamiento de la producción agrícola parece seguir un patrón similar al representado en la figura 4.2, ya que la extensión de la superficie agrícola ha permanecido estable a lo largo del tiempo, por lo tanto, también puede ser descartada. Por último, un cambio de los cultivos producidos en Michoacán puede explicar el crecimiento del valor de la producción agrícola en el estado.

Tabla 4.1:

Mercado de destino de los productos agrícolas de Michoacán en 2021

Tipo de cultivos	Producción dirigida al mercado nacional (Ton)	Valor de la producción dirigida al mercado nacional (Miles de pesos)	Producción dirigida al mercado de exportación (Ton)	Valor de la producción dirigida al mercado de exportación (Miles de pesos)
Cereales	2,213,207.42	11,287,372.07	0	0
Especias y medicinales	2,179.70	79,300.68	0	0
Forrajes	2,765,475.14	3,050,911.56	0	0
Frutales	3,940,221.07	60,013,722.49	144,465.90	3,222,588.09
Hortalizas	851,984.29	7,560,876.17	979.9	5,089.52
Industriales	1,228,625.08	2,066,751.41	0	0
Legumbres secas	36,127.61	429,648.08	0	0
Oleaginosas	12,269.46	175,592.33	0	0

Semillas para siembra	44,077.69	117,832.91	0	0
Tubérculos	95,125.05	605,410.06	0	0
Otros	37.54	1,057.69	0	0

Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

Agricultura de riego y temporal

Ciclo: año agrícola y perennes

Tipo de agricultura: invernadero, malla sombra, cielo abierto, macro túnel y micro túnel.

La tabla 4.1 muestra una situación muy interesante. Como se mencionó anteriormente en el tercer capítulo de esta investigación, los países dependientes tienden a concentrar su producción en productos agrícolas no esenciales, como lo son las frutas. En el caso de Michoacán, el tipo de cultivo más destacado son los frutales, los cuales en 2021 alcanzaron una producción de 3,940,221.07 toneladas, lo cual es equivalente al 35.2141% del volumen total de producción agrícola en Michoacán.

Cabe señalar que los frutales son también el tipo de cultivo que presenta el mayor valor de producción en Michoacán, alcanzando un total de 60,013,722,490 pesos, lo cual representa el 70.2832% del valor total de la producción agrícola en la región.

Por último, es importante señalar que los frutales son el principal tipo de cultivo de exportación en Michoacán, destinando 144,465.90 de toneladas al mercado internacional. En cuanto al valor de la producción dirigida al mercado de exportación los frutales representan 3,222,588,090 de pesos, lo cual equivale al 99.8423% del valor de la producción total.

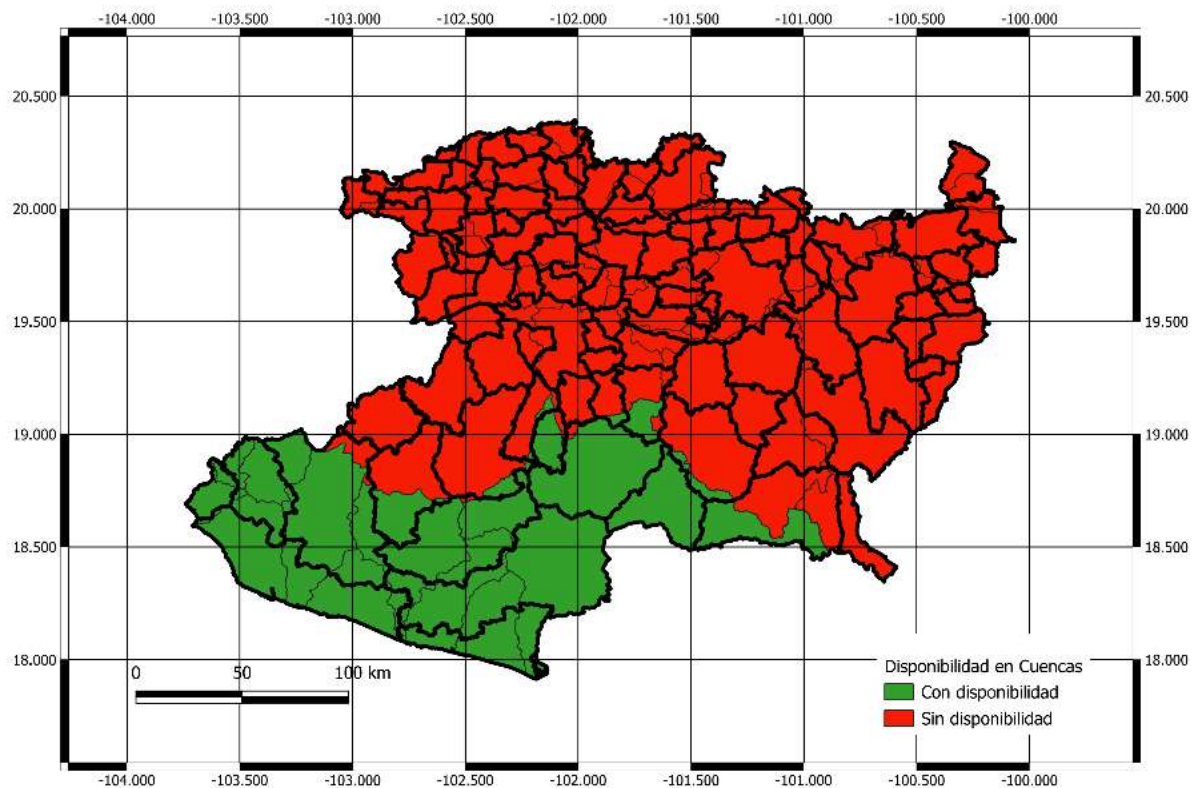
Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que los cultivos frutales son fundamentales para la agricultura en Michoacán, siendo de gran importancia tanto para el mercado nacional como para el internacional.

4.2.- Aspectos generales de la falta de disponibilidad de agua

Una vez expuestas las principales características de la agricultura actual de Michoacán, este apartado procede a describir de manera general el problema de la falta de disponibilidad de agua, tanto superficial como subterránea, en el estado.

Figura 4.4:

Cuencas con disponibilidad de agua en Michoacán 2020



Elaboración propia con datos del SINA (2022).

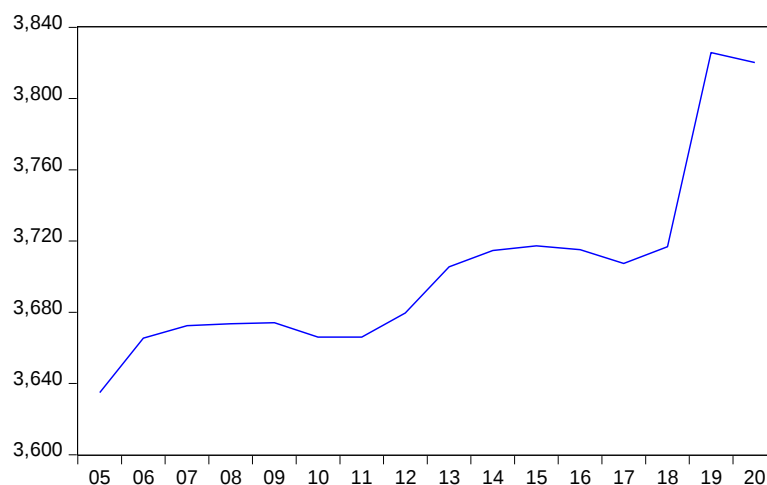
La figura 4.4 muestra en color verde las cuencas hidrológicas del estado de Michoacán que cuentan con disponibilidad de agua, mientras que las cuencas en color rojo representan aquellas que sufren falta de disponibilidad de agua. La figura 4.4 muestra que la mayor parte de las cuencas hidrológicas del estado de Michoacán enfrentan

problemas de falta de disponibilidad de agua. Únicamente las cuencas ubicadas cerca del Océano Pacífico muestran disponibilidad de agua, mientras que aquellas más cercanas al centro del territorio nacional presentan este problema.

La falta de agua superficial en Michoacán puede estar directamente relacionada con la agricultura, la cual en los últimos años ha experimentado un notable incremento en los volúmenes de agua utilizados. Este elevado consumo de agua por parte de la agricultura en Michoacán probablemente esté superando las capacidades naturales de recarga de agua de los cuerpos de agua superficial, ocasionado de esta manera un problema de falta de disponibilidad de agua superficial en el estado.

Figura 4.5:

Volumen de agua superficial concesionado para uso agrícola en Michoacán 2005-2020 en hm³



Elaboración propia con datos de SINA (2022) b.

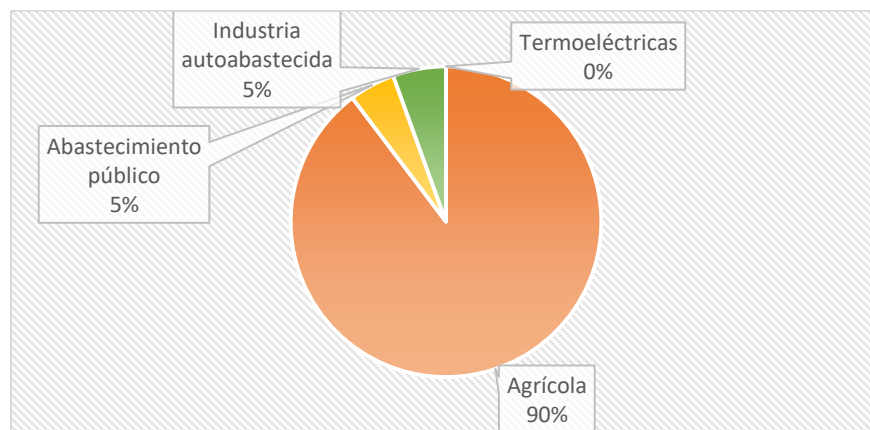
Nota: no hay datos de 2011 y se repitieron los datos de 2010 para elaborar la figura.

En la figura 4.5 se observa que el consumo de agua por parte de la agricultura ha experimentado un incremento a lo largo del tiempo, alcanzando actualmente un consumo superior a los 3,800 hectómetros cúbicos, lo que equivale a un consumo superior a los 3,800,000,000,000 litros de agua superficial.

De manera absoluta, la agricultura actualmente consume un volumen considerable de agua superficial en el estado de Michoacán. De manera relativa, la mayor parte del consumo de agua superficial extraída en la región está destinada a la producción agrícola (figura 4.6).

Figura 4.6:

Usos del agua superficial en Michoacán 2020.



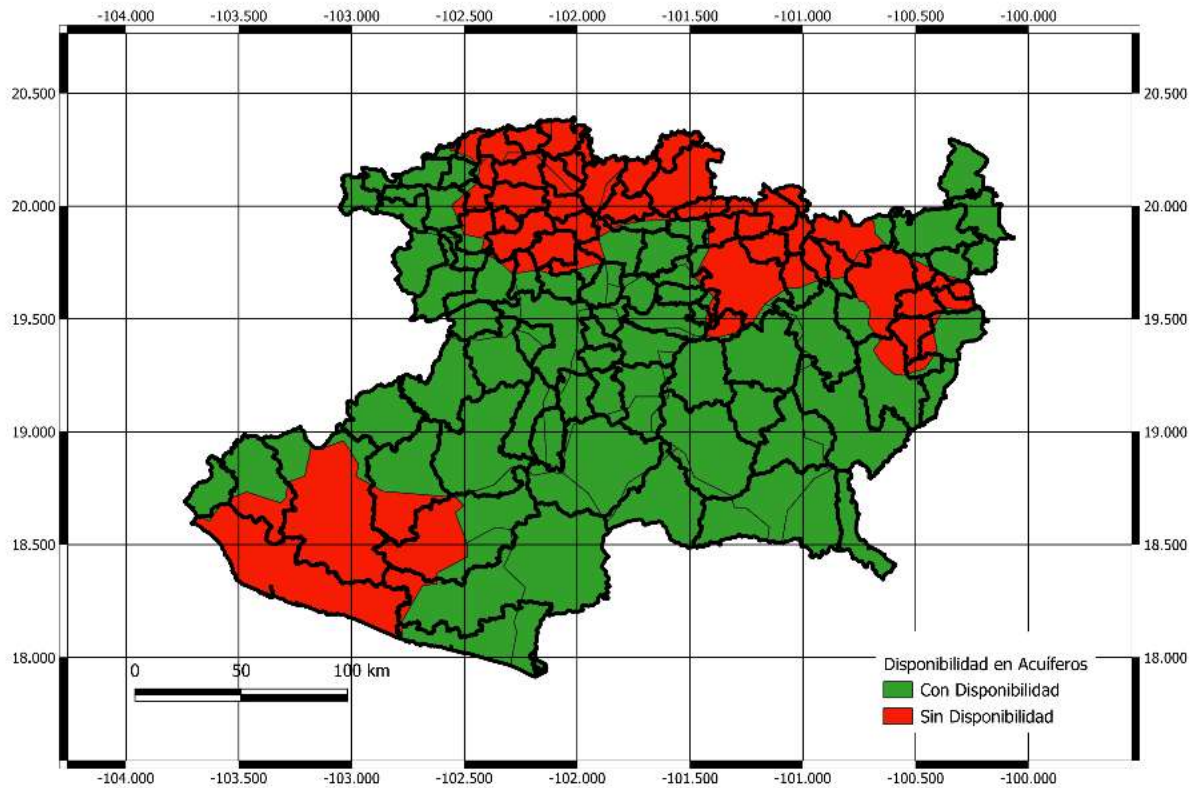
Elaboración propia con datos de SINA (2022) b.

La figura 4.6 muestra que la agricultura es responsable del 90% del consumo de agua superficial extraída en el estado de Michoacán. En otras palabras, la explotación de agua superficial en el estado está destinada casi en su totalidad a ser consumida por la actividad agrícola. Esta situación podría estar estrechamente relacionada con la falta de disponibilidad de agua en las cuencas hidrológicas del territorio. Es decir, es muy probable que el elevado consumo de agua por parte de la agricultura en Michoacán juegue un papel fundamental en la problemática anteriormente mencionada.

Si bien la problemática de la falta de agua superficial es grande, esta no representa la totalidad de la problemática de la falta de disponibilidad de agua en el estado de Michoacán. Para abarcarla en su totalidad, se debe de analizar también la problemática del agua subterránea en el estado.

Figura 4.7:

Disponibilidad de agua en acuíferos de México en 2020



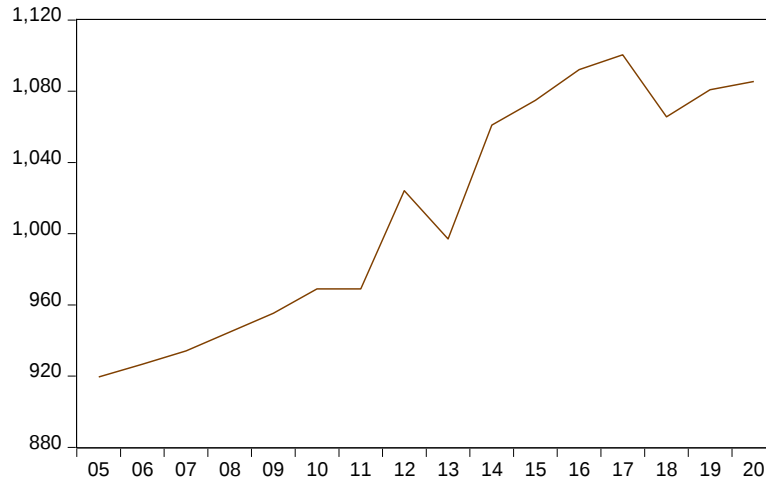
Elaboración propia con datos del SINA (2022) a.

La figura 4.7 muestra en color verde los acuíferos que presentan disponibilidad de agua, mientras que en color rojo están representados los acuíferos con problemas de falta de disponibilidad de agua. A través de la figura 4.7 se puede observar que una parte importante de los acuíferos de México se encuentran con problemas de falta de disponibilidad de agua, la mayor parte de los acuíferos que presentan este problema se encuentran en dirección hacia el centro del país, entre la latitud [19.500, 20.500] y la longitud [-102.500, 100.500] aproximadamente.

Si bien la situación mostrada en la figura 4.7 es menos alarmante que la mostrada en la figura 4.4, es muy probable que el problema de la falta de agua subterránea apenas se esté gestando. El consumo de agua subterránea es menor que el presentado por el agua superficial, pero el crecimiento del volumen utilizado es considerable (figura 4.8).

Figura 4.8:

Volumen de agua subterránea concesionado para uso agrícola en Michoacán (2005-2020)



Elaboración propia con datos del SINA (2022) b.

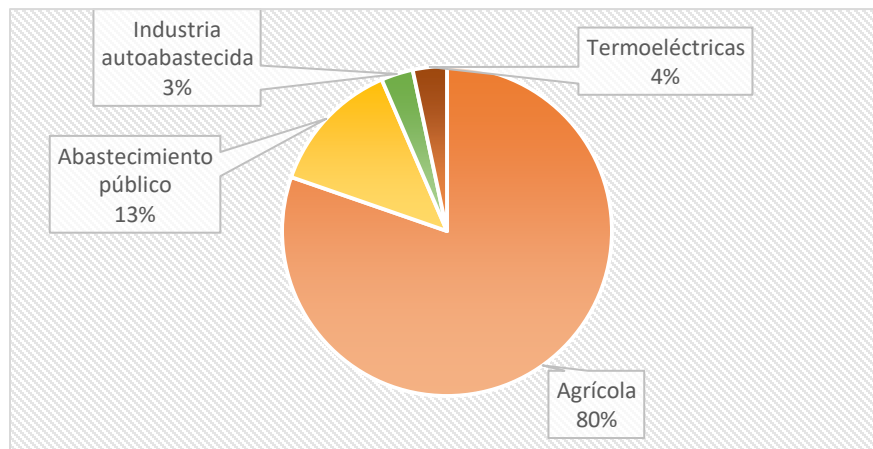
Nota: no hay datos de 2011 y se repitieron los de 2010.

En la figura 4.8 se puede observar que el incremento del agua subterránea consumida por la agricultura en Michoacán es considerable. Este ha sido menor en términos absolutos que el incremento que ha tenido el consumo de agua superficial, el cual fue de 185.32 hm³ de 2005 a 2020, mientras que el consumo de agua subterránea aumentó 165.94 hm³ en el mismo periodo; por otro lado, de manera relativa el incremento del consumo de agua superficial en este periodo fue de 5%, mientras que el aumento del consumo de agua subterránea fue de 18%.

Por otro lado, es importante destacar que, en la actualidad, la agricultura no solo está consumiendo un volumen cada vez mayor de agua subterránea, sino que también es la actividad que mayor cantidad de agua subterránea consume en todo el estado de Michoacán. (figura 4.9).

Figura 4.9:

Usos del agua subterránea en Michoacán 2020



Elaboración propia con datos del SINA (2022) b.

En la figura 4.9 se puede observar que la mayor parte del agua subterránea del estado de Michoacán es utilizada en la agricultura, la cual consume el 80% del total de agua extraída en el estado. Es importante analizar el problema de la falta de disponibilidad de agua subterránea en Michoacán, ya que se está presentando un incremento considerable en la explotación de agua por parte de la agricultura del estado. Cabe resaltar que esta a su vez la actividad que mayor volumen de agua subterránea consume en el estado.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede afirmar que Michoacán enfrenta un problema importante de falta de disponibilidad de agua tanto superficial como subterránea, la cual afecta la mayor parte del territorio. Es importante señalar que la agricultura está consumiendo un gran volumen de agua superficial y subterránea en el estado, lo cual probablemente esté influyendo sobre la falta de disponibilidad de agua en sus cuencas hidrológicas y acuíferos. Si esta tendencia continúa, es muy probable que se presenten graves afectaciones para las condiciones naturales que permiten la reproducción de la vida de los seres vivos y la producción de mercancías.

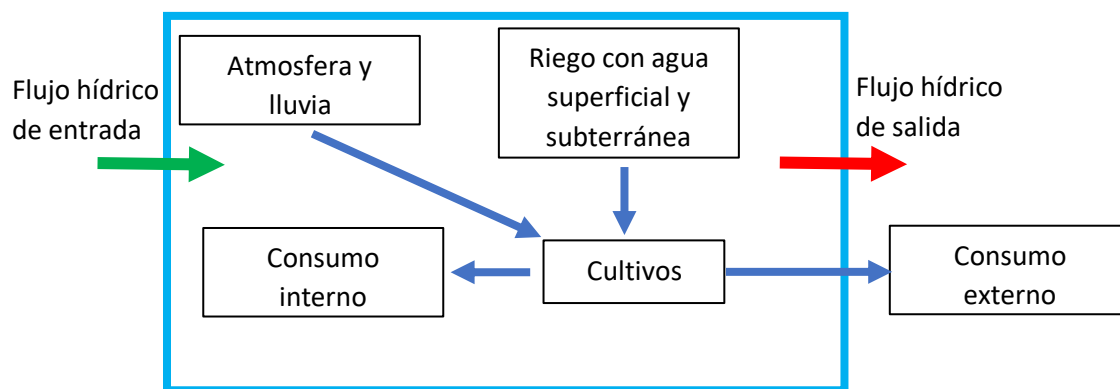
4.3.- El sistema hídrico y el subsistema agrícola del estado de Michoacán

Anteriormente, a lo largo de este capítulo, se analizaron los aspectos generales de la agricultura y el problema de la falta de disponibilidad de agua tanto superficial como subterránea en el estado de Michoacán. Estos aspectos servirán como base para definir una sistematización que permita revelar las relaciones existentes entre el problema de la falta de disponibilidad de agua y la agricultura en Michoacán.

Para llevar a cabo lo mencionado en el párrafo anterior, se empleará la figura 1.16 desarrollada en el capítulo uno, la cual se contextualizará en relación con el tema desarrollado en esta investigación mediante el análisis realizado anteriormente en este capítulo (figura 4.10).

Figura 4.10:

El sistema hídrico y el subsistema agrícola del estado de Michoacán



Elaboración propia.

La figura 4.10 es idéntica a la figura 1.16, pero el significado de cada una de sus partes es distinto.

El rectángulo de color azul representa el sistema hídrico de Michoacán. En el contexto de esta investigación, este sistema engloba todas las cuencas y acuíferos del

estado, muchos de los cuales presentan problemas de falta de disponibilidad de agua, especialmente las cuencas.

El sistema hídrico de Michoacán permite la existencia del subsistema agrícola, donde se encuentran los cultivos. Estos necesitan agua para poder ser producidos, misma que obtienen a partir del agua de lluvia en el caso de la agricultura de temporal, y mediante el riego con agua superficial y subterránea en la agricultura de riego. La disponibilidad de esta agua está determinada por el sistema hídrico del estado, mismo que en la actualidad presenta problemas de falta de disponibilidad de agua.

Los cultivos producidos en el estado de Michoacán contienen agua, la cual una vez consumida se reintegra al sistema hídrico de donde fue consumida. Por lo tanto, si los cultivos producidos en Michoacán son consumidos dentro del estado, esta agua se reintegrará a sus cuencas y acuíferos. Por otro lado, si los cultivos son consumidos fuera del estado, el agua que estos contenían se reintegrará a otras cuencas y acuíferos. Es importante señalar que no se tienen datos específicos sobre los cultivos que son transportados para comercializarse en otros estados de México, pero se puede afirmar que al menos los cultivos frutales son los principales productos que salen de Michoacán con dirección al extranjero. Lo anterior significa que las frutas representan un flujo hídrico de salida para el estado de Michoacán.

Los flujos hídricos de salida están compuestos por toda el agua que sale de las cuencas y acuíferos de Michoacán. Esta salida de agua puede ocurrir de varias formas, como, por ejemplo, a través de la precipitación de agua proveniente del estado de Michoacán en otros territorios, o también por medio de la exportación de productos que contienen agua a cualquier lugar fuera del estado. Si bien en la sistematización se engloban todos los flujos de salida, se pone énfasis en los flujos de salida derivados de la exportación de cultivos fuera del estado de Michoacán.

Por otro lado, los flujos hídricos de entrada están compuestos por toda el agua que ingresa a las cuencas y acuíferos del estado de Michoacán. Esta entrada de agua puede ocurrir de varias formas, por ejemplo, a través de la precipitación de agua en el estado de Michoacán, la cual tiene que provenir de otros territorios, o también mediante el

consumo de mercancías que contengan agua, ya que su consumo permitirá que el agua se reintegre a las cuencas y acuíferos del estado de Michoacán.

Si bien, como se mencionó anteriormente a lo largo de esta investigación, la agricultura actualmente existente en el estado de Michoacán determina el metabolismo de la sistematización planteada, aún no se conoce realmente cómo afecta la disponibilidad de agua.

Para lograr este objetivo, es necesario analizar más a fondo cómo la agricultura influye sobre el consumo y la recarga de agua en Michoacán. El primero se relaciona con las particularidades del consumo de agua por parte de la agricultura, mientras que el segundo se refiere a las afectaciones que la agricultura provoca en las condiciones naturales que permiten la recarga de agua.

Capítulo 5.- La agricultura en Michoacán, una causa de la falta de disponibilidad de agua

En este capítulo se trata de analizar en qué medida y de que forma la agricultura influye sobre la falta de disponibilidad de agua en el estado de Michoacán. Para abordar este tema, se deben de contemplar dos ejes fundamentales. En primer lugar, se deben de analizar las concesiones de agua superficial y subterránea que se destina al sector agrícola en Michoacán. En segundo lugar, se intentará cuantificar el desplazamiento de la superficie boscosa, que contribuye a la recarga de agua de las cuencas y acuíferos del estado, debido a la expansión de la agricultura en Michoacán.

El primer eje permitirá conocer de mejor manera la extracción de agua derivada de las concesiones otorgadas para su usufructo al sector agrícola michoacano. Por otro lado, el segundo eje permitirá entender la reducción en la recarga de agua del sistema hídrico de Michoacán, derivada de las transiciones y el consecuente deterioro del sistema natural-forestal e hídrico.

Este capítulo inicia con una descripción general del comportamiento histórico de la agricultura de riego, seguida de un análisis de su distribución espacial actual dentro del territorio. Posteriormente, se describe de manera general el comportamiento histórico del consumo de agua agrícola y su actual distribución en el estado de Michoacán. Estas descripciones resaltan la importancia de identificar los principales cultivos de Michoacán, los cuales se abordaron posteriormente dentro de este capítulo.

Tomando en cuenta lo anterior, se procedió a realizar un análisis multicriterio utilizando el **algoritmo de Saaty**. En este análisis, se consideraron algunos de los principales cultivos de Michoacán como alternativas, mientras que el tamaño de la producción, la extensión de la superficie agrícola de cada cultivo y el precio medio rural se establecieron como los criterios de evaluación. Este arrojó como resultado, que para esta investigación el cultivo más relevante era el aguacate.

Posteriormente, se realizó una **regresión lineal** la cual indica que el aguacate tiene una influencia importante sobre el consumo de agua agrícola en el estado de Michoacán.

En cuanto a la segunda parte del capítulo, se busca analizar de qué forma la agricultura, tanto de riego como de temporal, influye en el deterioro de las condiciones naturales-forestales e hídricas que permiten la óptima recarga de agua en Michoacán.

Para ello se procedió a conocer la influencia que tiene el volumen de agua asignado a la agricultura sobre la distribución espacial de la superficie agrícola del estado de Michoacán. Esto se logró mediante la identificación de la **autocorrelación espacial** entre estas dos variables.

Posteriormente, se realizó un análisis del cambio de uso de suelo en Michoacán utilizando **una matriz de cambio de uso de suelo**. Este método permitió cuantificar y localizar espacialmente la superficie forestal desplazada debido a la expansión agrícola de los últimos años.

5.1.- Impactos de la agricultura de riego en la disponibilidad de agua en Michoacán

En este apartado se busca comprender con mayor profundidad la relación entre la agricultura y el alto consumo de agua agrícola. Aunque el Capítulo 3 de esta investigación reveló que la agricultura monopoliza el uso de agua en Michoacán, es importante destacar que la agricultura de riego es la actividad con mayor concentración en concesiones y consumo de agua.

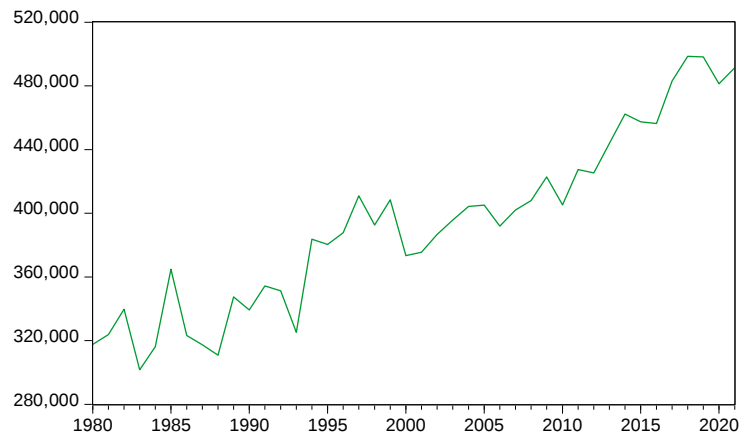
5.1.1.- Aspectos generales de la agricultura de riego en Michoacán

En este apartado, retomando elementos del capítulo 4, se hace un breve análisis del comportamiento histórico que ha tenido la superficie agrícola, enfocándose únicamente en la agrícola de riego

En el caso de la agricultura de riego en Michoacán, se observa un incremento relativamente sostenido a lo largo del tiempo (ver Figura 5.1), lo cual contrasta con el comportamiento que ha tenido la agricultura de riego y temporal (ver Figura 4.1), la cual se han mantenido sin cambios significativos a través del tiempo. Este patrón podría sugerir que, en Michoacán, mientras la agricultura de riego está en crecimiento, la agricultura de temporal está experimentando una disminución en su superficie.

Figura 5.1:

Comportamiento histórico de la superficie agrícola de riego de Michoacán (1980-2020)



Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

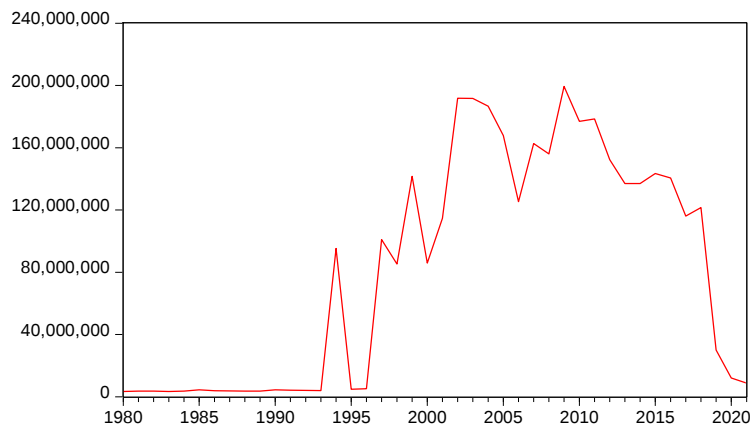
Nota: agricultura de riego, año agrícola y perennes.

En la figura 5.1 se puede observar un crecimiento constante de las actividades agrícolas a partir del año 2000. Esto se correlaciona con lo antes expuesto al señalar que la liberalización y el intercambio internacional se buscó no solo producir para satisfacer la demanda local, sino también para satisfacer la demanda internacional. También es importante señalar que en 2020 se observa una leve caída, provocada probablemente por la pandemia de COVID 19, pero inmediatamente se recupera de esa caída en 2021. El incremento entre el 2000 y el 2021 comprende a 118,078.38 hectáreas o lo que es lo mismo un 31.6285 %, lo cual es un incremento considerable.

Aunque la superficie agrícola de riego de Michoacán presenta un crecimiento sostenido a través del tiempo, la producción agrícola de riego muestra un comportamiento totalmente diferente. En el estado de Michoacán, la producción agrícola ha presentado una tendencia irregular a lo largo del tiempo, la cual está caracterizada por subidas y bajadas abruptas (figura 5.2).

Figura 5.2:

Comportamiento histórico de la producción agrícola de riego de Michoacán (1980-2020)



Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

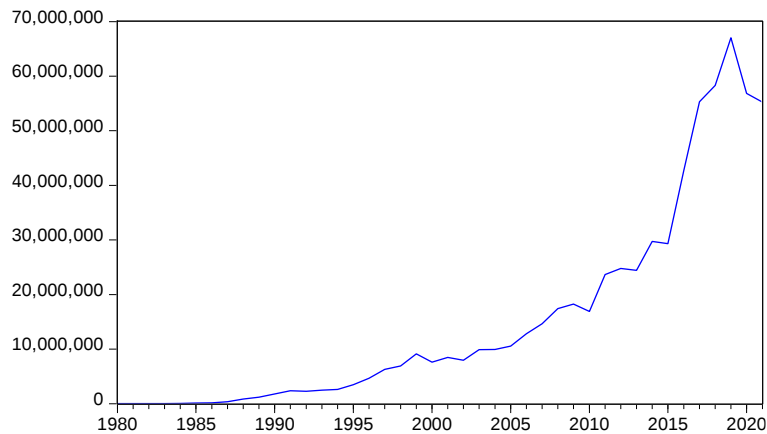
Nota: agricultura de riego, año agrícola y perennes.

En la figura 5.2 se puede observar con mayor claridad que durante la apertura comercial global la producción incrementó considerablemente. En la primera mitad de la década de los noventa se puede observar un aumento notable. Posteriormente, se tiene una bajada importante y se recupera a finales de esta década; a partir de este periodo se observa una serie de aumentos, hasta llegar al 2019, donde se presenta una caída brusca que llega hasta 2021 donde encuentra su punto más bajo. Esta caída del 2018 al 2021 corresponde a 112,790,060.33 toneladas. Este comportamiento coincide por una parte con la apertura comercial y por otra parte con la pandemia de COVID 19. Es decir, puede existir una dependencia fuerte entre el mercado internacional y la producción agrícola de riego de Michoacán.

Por otro lado, el comportamiento del valor de la producción agrícola de riego muestra una tendencia totalmente diferente al volumen de producción agrícola de riesgo (figura 5.2), pero es relativamente similar al comportamiento de la superficie agrícola de riego (figura 5.1). Podría sugerir que la agricultura en Michoacán presenta características expansivas, ya que la superficie agrícola de riego y el valor de su producción están aumentando de manera simultánea.

Figura 5.3:

Comportamiento histórico del valor de la producción agrícola (millones de pesos) en Michoacán (1980-2021)



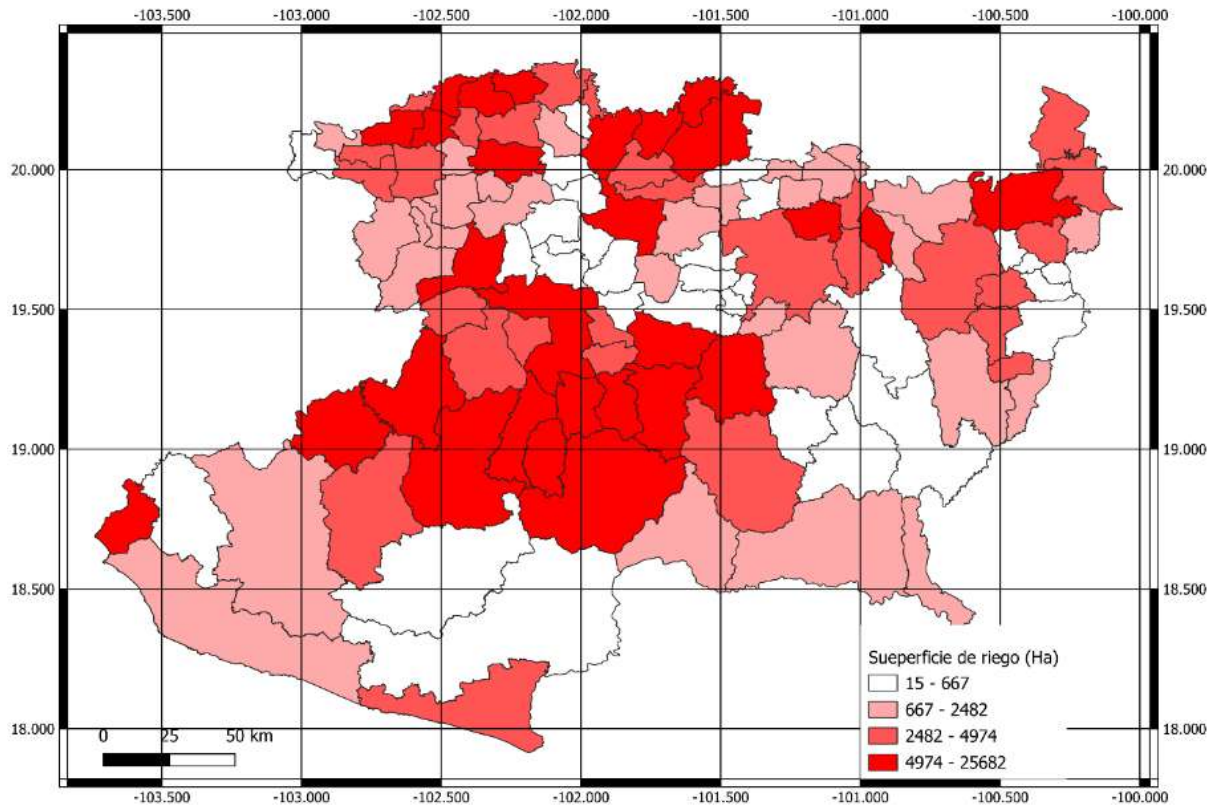
Elaboración propia con datos del SIAP (2022)

La figura 5.3 presenta un crecimiento considerable que se mantiene a través del tiempo. En esta se puede observar una caída importante en el 2010, probablemente por la crisis financiera del 2008, pero posteriormente en 2011 se puede observar un incremento sostenido hasta el año de 2019, donde probablemente por la crisis del COVID 19 presenta una caída considerable. Que se tenga un crecimiento diferente a la producción puede ser explicado por la apreciación de los productos anteriormente existentes o por un cambio en la variedad de cultivos producidos.

Si bien anteriormente se han mencionado aspectos generales de la agricultura de riego en Michoacán, es importante visualizar cómo esta se distribuye a lo largo del estado. En el caso de Michoacán, se observa que la mayor parte de la superficie agrícola de riego está concentrada en el centro del estado (ver Figura 5.4).

Figura 5.4:

Distribución espacial de la superficie agrícola de Michoacán en 2021



Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

Nota: agricultura de riego, año agrícola y perennes.

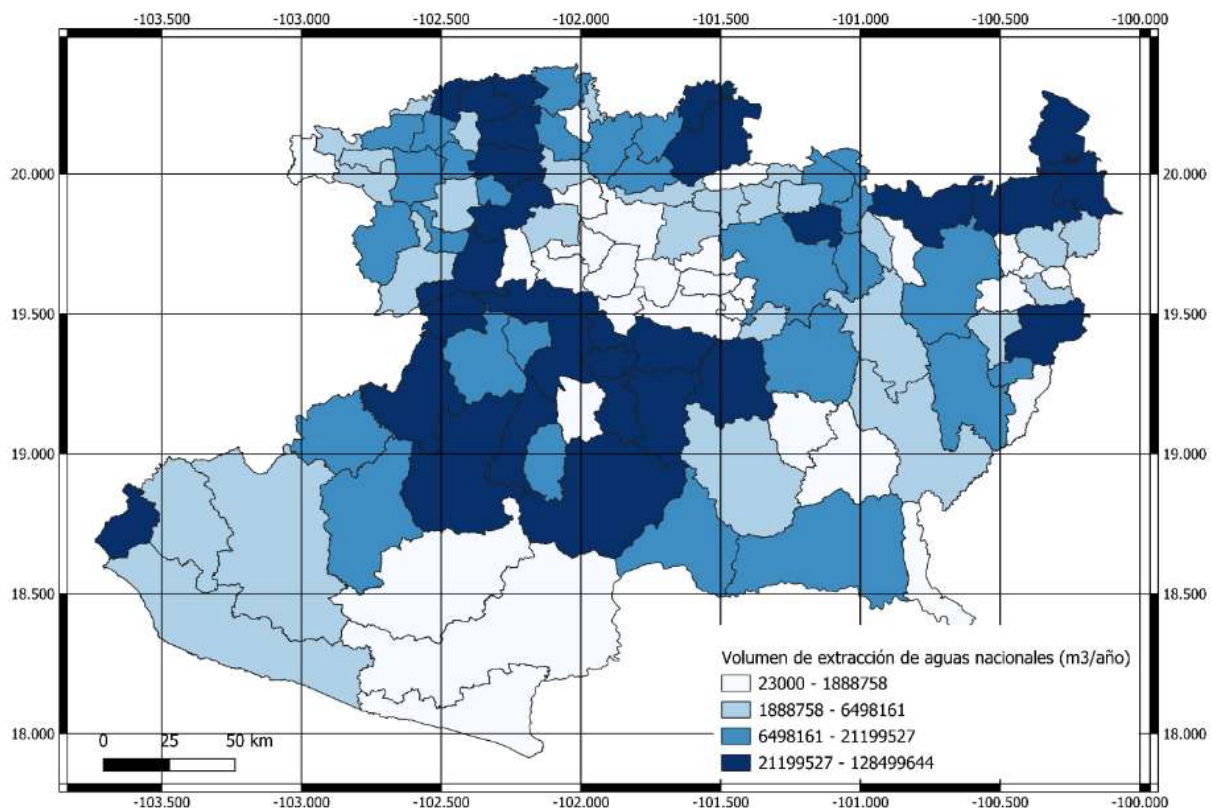
En la Figura 5.4, se puede observar que la mayor parte de la superficie agrícola se encuentra concentrada en municipios como Uruapan, Nuevo Urecho, Ario de Rosales, Tacámbaro, Salvador Escalante, entre otros. Por otro lado, municipios como Arteaga, Tumbiscatío, Chinicuila, Quiroga, Tzintzuntzan, Lagunillas, entre otros, presentan una menor superficie agrícola de riego.

De la misma forma que la superficie agrícola de riego, la extracción de agua para uso agrícola no se distribuye de manera uniforme por el estado de Michoacán. Es importante identificar las zonas donde se extrae más agua para satisfacer la demanda de la agricultura de riego. En el caso de Michoacán, la distribución espacial de la extracción

de agua destinada al uso agrícola guarda una similitud notable con la distribución espacial de la superficie agrícola de riego en el estado.

Figura 5.5:

Distribución espacial del volumen de extracción concesionado de Michoacán en 2021



Elaboración propia con datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) (2023).

Nota: A los municipios que no presentaron el reporte sobre volumen de extracción de aguas nacionales (m³/año) se les asignó con motivo de este análisis el valor mínimo reportado por los municipios con los cuales colinda.

No es una sorpresa que la figura 5.4 y 5.5 sean tan similares, ya que la agricultura de riego es llamada así, precisamente porque para producir necesita explotar agua superficial y/o subterránea para utilizarla en el riego de cultivos. Aunque pareciera que es

algo obvio que se presenten estos resultados, no está de más observar ambos fenómenos.

Teniendo en cuenta lo anterior, resulta necesario identificar cuáles son aquellos cultivos agrícolas predominantes que ejercen una influencia considerable sobre la extracción de agua para uso agrícola. En este sentido, es crucial determinar cuáles son los principales cultivos del estado

Tabla 5.1:

Principales plantaciones agrícolas de riego en Michoacán 2021

Producto	Superficie sembrada (Ha)	Producción (Ton)	Precio medio rural (\$/Ton)
Maíz grano	124,600.00	823,251.26	4,973.36
Aguacate	64,621.35	737,903.91	21,598.25
Limón	63,966.95	800,120.59	7,537.13
Trigo grano	43,103.00	243,329.86	5,211.06
Sorgo grano	28,155.82	163,402.79	4,263.16
Mango	25,770.43	173,775.52	6,191.10
Caña de azúcar	14,665.50	1,132,006.57	860.44
Guayaba	10,587.00	137,091.64	5,397.53
Zarzamora	8,192.50	195,794.47	19,664.38
Fresa	7,290.73	326,191.10	19,616.72

Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

Nota: agricultura de riego, año agrícola y perennes.

En la tabla 5.1 en puede observar que gran parte de los principales productos agrícolas de riego en Michoacán son frutas, tal y como se mencionaba anteriormente en el capítulo 4 de esta investigación. También cabe mencionar que buena parte de la superficie agrícola está ocupada por algunos granos básicos como lo son el maíz, el trigo, y el sorgo.

Otro factor importante a tener en cuenta, es el precio medio rural por tonelada. Según los datos presentados en la tabla 5.1, las frutas en Michoacán tienden a tener un precio mayor en comparación con los granos básicos. Esto coincide justo con lo mostrado

en la tabla 4.1, la cual indica que el conjunto de los frutales representa el tipo de cultivo con el valor de producción más alto.

5.1.2- Estimación del consumo de agua

Retomando lo visto anteriormente, no se puede suponer que todos los productos agrícolas consumen la misma cantidad de agua. Por lo tanto, surge la necesidad de ubicar cuáles mantienen una correlación más fuerte con los altos consumos de agua de uso agrícola en el estado de Michoacán. Con este fin, se lleva a cabo un análisis de regresión utilizando datos de serie de tiempo del periodo que van de 2005 a 2020.

5.1.2.1.- Elección de las variables explicativas mediante el algoritmo de Saaty

Si bien se utilizaría la variable superficie agrícola de riego como variable explicada, se debe de elegir qué cultivos serán analizados como variables explicativas. En la tabla 5.1 se exponen las superficies de cultivos más extensas del estado de Michoacán, pero se debe de acotar aún más para tener solo variables que vayan de acuerdo al rumbo de esta investigación.

Con el fin de acotar el análisis multicriterio, se decidió incluir únicamente las frutas como alternativas. Esto debido a que solo existe la certeza de que las frutas son el único tipo de cultivo que se exporta en grandes cantidades fuera del estado de Michoacán, como se mencionó anteriormente en el capítulo 4. Cabe resaltar que, en el contexto de esta investigación, se puede afirmar que el agua utilizada en la producción de frutas tiene una mayor probabilidad de salir de las cuencas y acuíferos del estado de Michoacán.

Los cultivos que se considerarán dentro del análisis multicriterio serán las siete frutas mencionadas en la tabla 5.1. Estos cultivos serán evaluados de manera ponderada teniendo en cuenta tres criterios principales: la superficie que ocupan, el volumen de producción y el precio medio rural por tonelada. Esta evaluación multicriterio se llevará a cabo utilizando el método conocido como **algoritmo de Saaty**, el cual fue descrito detalladamente en el capítulo 2 de esta investigación.

Tabla 5.2:

Ponderación de acuerdo con la superficie agrícola que ocupa cada cultivo

Producto	Código	Valor	Ponderación
Aguacate	A1	1	35.77
Limón	A2	1	35.77
Mango	A3	4	13.98
Caña de azúcar	A4	5	9.69
Guayaba	A5	7	4.78
Zarzamora	A6	8	3.18
Fresa	A7	8	3.18

Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

Para llevar a cabo esta ponderación, se consideró la superficie sembrada de cada uno de los cultivos y se clasificó de mayor a menor. Se asignó el número 1 al cultivo con la mayor extensión de superficie sembrada, mientras que el número 9 se asignó al cultivo con la menor superficie. Esta evaluación permite observar la importancia de cada cultivo con respecto a su extensión de superficie agrícola sembrada. En este caso particular, los cultivos más relevantes son el aguacate y el limón.

Tabla 5.3:

Resultados de la ponderación del volumen de producción de cada cultivo

Producto	Código	Valor	Ponderación
Aguacate	A1	3	20.52
Limón	A2	2	30.03
Mango	A3	8	3.87
Caña de azúcar	A4	1	42.83

Guayaba	A5	9	2.75
Zarzamora	A6	7	5.52
Fresa	A7	4	14.07

Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

En la tabla 5.3, al igual que en la tabla 5.2, se llevó a cabo una evaluación basada en la información proporcionada en la tabla 5.1. Con estos datos, se asignó a cada cultivo un valor en función de su volumen de producción. Por ejemplo, se asignó el valor de 1 al cultivo de caña de azúcar debido a que representa el mayor volumen de producción en toneladas.

Tabla 5.4:

Ponderación de acuerdo con el precio medio rural de cada cultivo

Producto	Código	Valor	Ponderación
Aguacate	A1	1	60.34
Limón	A2	4	19.20
Mango	A3	6	9.78
Caña de azúcar	A4	9	3.81
Guayaba	A5	7	6.86
Zarzamora	A6	2	40.33
Fresa	A7	2	40.33

Elaboración propia con datos del SIAP (2022).

La tabla 5.4 muestra la ponderación del precio medio rural de cada cultivo en el estado de Michoacán. A partir de la información proporcionada en la tabla 5.1, se asignó a cada uno de los cultivos un valor dentro de un intervalo de [1,9] en relación con su precio medio rural. Caber resaltar que, según esta evaluación el aguacate fue considerado el cultivo más relevante para este criterio.

Tabla 5.5:

Ponderación de cada uno de los Criterios a evaluar

Criterios	Código	Valor	Ponderación
Superficie sembrada (Ha)	C1	3	16.34
Producción (Ton)	C2	2	29.70
Precio medio rural (\$/Ton)	C3	1	53.96

Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 2 de esta investigación, una vez que las alternativas son evaluadas con respecto a los criterios seleccionados, se procede a evaluar la relevancia que tiene cada uno de los criterios en cuanto a la investigación. Se determinó otorgarle la mayor relevancia al precio medio rural (tabla 5.5) debido a que como se ha mencionado a lo largo de esta investigación las expectativas de obtener grandes ganancias a través de la producción de cultivos altamente rentables determina la producción agrícola del estado de Michoacán.

Tabla 5.6:

Resultados finales del algoritmo de Saaty

Cultivo	Código	Ponderación
Aguacate	A1	44.50
Limón	A2	25.13
Mango	A3	8.71
Caña de azúcar	A4	16.36
Guayaba	A5	5.30
Zarzamora	A6	23.92
Fresa	A7	26.46

Elaboración propia

La tabla 5.6 muestra los resultados de la aplicación del **algoritmo de Saaty** a los siete cultivos frutales en los tres criterios evaluados. El resultado arrojó que el cultivo más relevante para esta investigación es el aguacate. Por lo tanto, este cultivo será utilizado como variable explicativa en la regresión planificada con anterioridad.

5.1.2.2.- Relación entre los cultivos seleccionados con el algoritmo de Saaty y el agua de uso agrícola

Con los resultados anteriores se puede mencionar que la superficie aguacatera de riego es la variable explicativa más relevante para poder analizar en esta investigación. Por otro lado, la variable explicada en la regresión será el volumen de agua total destinado a la producción agrícola.

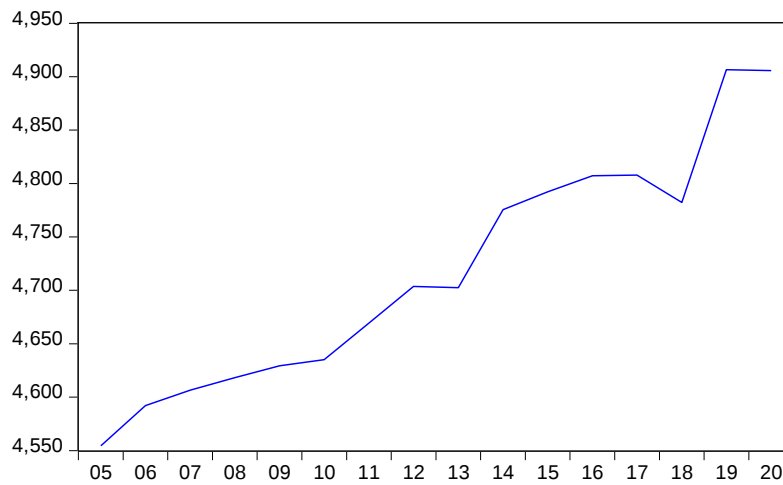
El propósito de esta regresión es analizar la influencia de un cultivo que ha experimentado un crecimiento significativo en el estado de Michoacán y que ahora es reconocido a nivel mundial, sobre el consumo de agua en un estado que enfrenta problemas de falta de disponibilidad de agua.

Revisión histórica

Lo primero que se realizará es observar la evolución histórica de ambas variables por medio de un gráfico de línea. Esto permitirá observar la tendencia que se ha presentado durante cierto periodo de tiempo.

Figura 5.6:

Extracción total de agua de uso agrícola (hm³) en Michoacán (2005-2020).



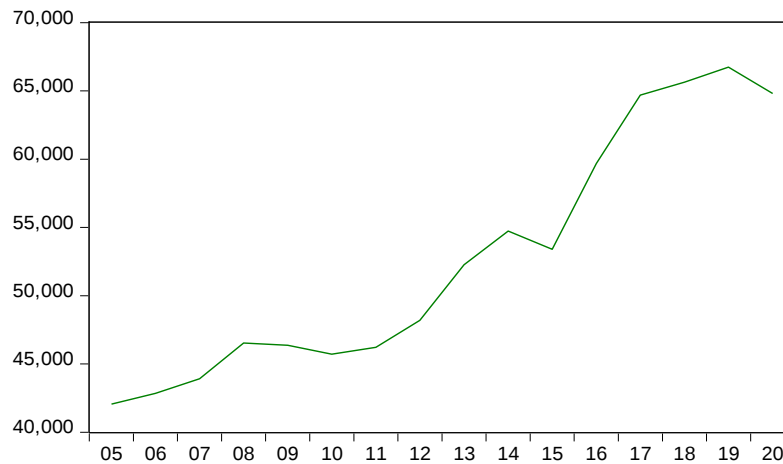
Elaboración propia con datos del SINA (2022).

En la figura 5.6 se puede observar que a través de los años en Michoacán se ha incrementado el consumo de agua agrícola de manera más o menos sostenida y con muy pocas caídas.

Por otro lado, la superficie agrícola sembrada con aguacate de riego en el estado de Michoacán muestra un comportamiento similar a lo largo del periodo analizado (ver Figura 5.7).

Figura 5.7:

Superficie aguacatera de riego sembrada (Ha) en Michoacán (2005-2020)



Elaboración propia con datos del SINA (2022).

Año agrícola y perenne

Agricultura de riego

Se puede observar en la figura 5.7 que la plantación de aguacate también tiene una tendencia de crecimiento a lo largo del periodo analizado. Aunque se puede observar que en estos últimos años parece ser que la plantación está disminuyendo un poco.

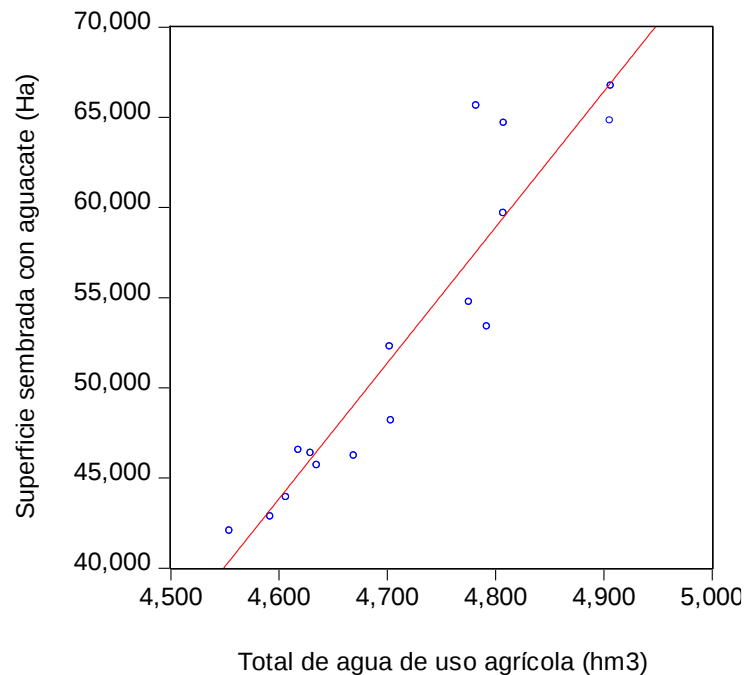
Es importante señalar que se eligió la variable de superficie aguacatera de riego en lugar de la producción de aguacate de riego. Esto debido a que el cultivo requiere agua para su crecimiento incluso antes de que pueda producir frutos. Si se eligiera la producción de aguacate de riego como variable explicativa, se asumiría que toda el agua se destina a la producción, lo cual no refleja la realidad. Es necesario considerar el consumo de agua durante las etapas de crecimiento antes de la producción, para de esta forma presentar una visión más completa del uso del agua en este cultivo.

Forma funcional

Antes de plantear una función para elaborar la regresión, se debe de estar seguro de la relación que existe entre las variables. Es por esto que comúnmente se tiende a realizar un gráfico de dispersión para identificar el comportamiento de ambas variables (figura 5.8)

Figura 5.8:

Relación entre la superficie aguacatera de riego (Ha) y el consumo de agua agrícola (hm^3)



Elaboración propia con datos del SINA (2022) y del SIAP (2022).

En la figura 5.8 se puede observar de manera clara que la relación entre la superficie aguacatera de riego y volumen de agua utilizado en la agricultura guardan una relación positiva y lineal. Por lo tanto, la función a programar tendrá que reflejar este comportamiento.

$$Y = \beta_1 + \beta_2 * X_1$$

Genéricamente la ecuación anteriormente descrita sería la forma funcional con la cual se debería de trabajar la regresión, pero la verdadera forma funcional de la regresión de esta investigación sería la siguiente:

$$\text{Volumen de extracción de agua de uso agrícola} = \beta_1 + \beta_2 * \text{Superficie aguacatera}$$

Donde:

Volumen de extracción de agua de uso agrícola = Volumen de extracción de agua de uso agrícola (litros)

Superficie aguacatera = Superficie aguacatera de riego (Ha)

β_1 y β_2 = Estimadores, valores fijos o parámetros

Es importante señalar que, aunque al principio de este apartado se manejó el volumen de extracción de agua de uso agrícola en hectómetros cúbicos, para la regresión se transformaron en litros con el objetivo de facilitar la interpretación de los resultados.

Resultados de la regresión

Con respecto a lo anterior se realizó una regresión con la forma funcional antes descrita y a través del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

Tabla 5.7:

Regresión lineal

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Superficie aguacatera	1158375.	118706.8	9.758292	0.0000
C	4.11E+11	6.34E+09	64.75048	0.0000

Elaboración propia con datos del SINA (2022) y del SIAP (2022).

En la tabla 5.7 se puede observar, en primera instancia que los estimadores obtenidos en la regresión son confiables incluso por encima del 99% de confianza, teniendo como resultado los siguientes valores de los estimadores $\beta_1 = 1158375$ y $\beta_2 = 4.11E+11$.

En cuanto al coeficiente de determinación y al F estadístico se tiene el siguiente resultado (tabla 5.8).

Tabla 5.8:

Coeficiente de determinación y F estadístico

R-squared	0.871823
Adjusted R-squared	0.862668
F-statistic	95.22426
Prob(F-statistic)	0.000000

Elaboración propia con datos del SINA (2022) del SIAP (2022)

La tabla 5.8 muestra que la capacidad explicativa de la regresión es relativamente alta, debido a que el coeficiente de determinación es de 0.8627. Esto indica que la línea de regresión se ajusta bien a los datos suministrados. Además, la prueba de Fisher confirma la validez de la regresión, ya que el valor p es menor que el nivel de significancia estadística de 0.05.

Pruebas de normalidad

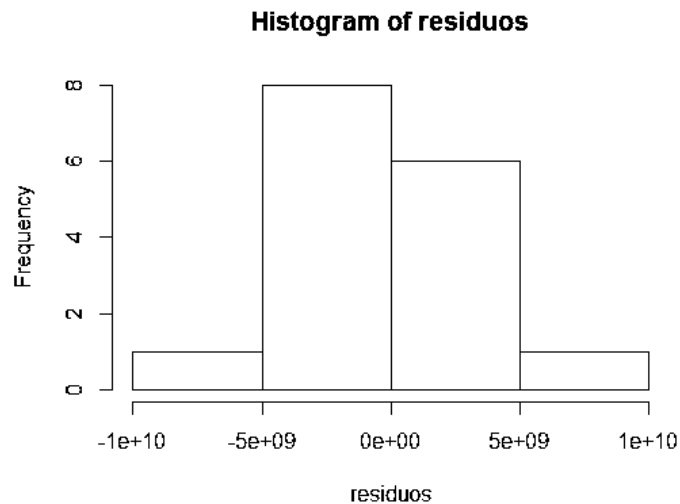
Una vez que se obtuvieron los resultados de la regresión, se procede a verificar su validez a través de una serie de pruebas, la primera sería la prueba de normalidad que a grandes rasgos consiste en determinar si los datos de la regresión se distribuyen de manera normal.

Existen varias pruebas para verificar la normalidad de los datos, pero para esta investigación solo se llevarán a cabo las pruebas de Jarque Bera y de Shapiro-Wilk.

Prueba Jarque Bera

Figura 5.9:

Histograma de los residuos de la regresión lineal



Elaboración propia con datos de SINA (2022) y del SIAP (2022)

En la figura 5.9 se observa que el histograma de los residuos se asemeja a una distribución normal. Sin embargo, este comportamiento no es suficiente para afirmar la normalidad de los residuos. Para tener certeza es necesario realizar la prueba de Jarque-Bera para confirmarlo

Tabla 5.9:

Prueba Jarque-Bera

Jarque-Bera Normality Test	
Jarque-Bera	0.34903
P-value	0.8399

Elaboración propia con datos del SINA (2022) y del SIAP (2022).

Para evaluar la prueba de normalidad Jarque-Bera primero se deben de plantear las siguientes hipótesis. La hipótesis nula (H_0) indica que los residuos se distribuyen de

forma normal, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) señala que los residuos no están distribuidos de forma normal.

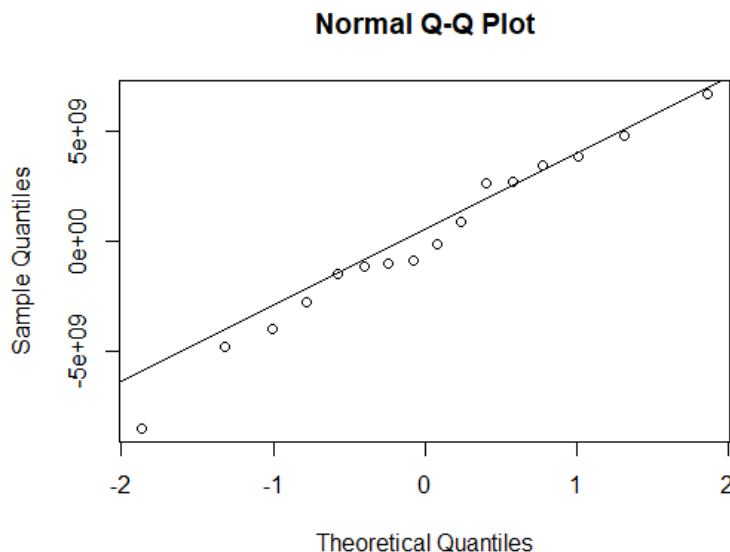
La tabla 5.9 muestra los resultados de la prueba Jarque Bera la cual indica que para este caso no se rechaza la hipótesis nula (H_0). Esto se debe a que el valor p obtenido es 0.8399, el cual es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, no hay suficiente evidencia para concluir que los residuos no se distribuyen normalmente. En otras palabras, con un nivel de confianza del 95%, se puede afirmar que los residuos siguen una distribución normal.

Prueba Shapiro-Wilk

Como ya se mencionó anteriormente otra de las formas en las que se puede comprobar la normalidad de los residuos de la regresión es a través de la prueba Shapiro-Wilk. Para realizar esta se tendrá que analizar primero un QQplot de la regresión.

Figura 5.10:

QQplot de normalidad



Elaboración propia con datos del SINA (2022) y del SIAP (2022).

En la figura 5.10 se puede observar que la línea trazada en el gráfico pasa muy cerca de los puntos. Por lo tanto, se puede asumir de manera preliminar, que el modelo original presenta normalidad en los residuos. Lo anterior no es prueba suficiente para afirmar la normalidad en los residuos. Es por esto que se realiza la siguiente prueba llamada Shapiro-Wilk.

Tabla 5.10:

Prueba Shapiro-Wilk

Shapiro-Wilk normality test	
Shapiro-Wilk	0.97925
P-value	0.9573

Elaboración propia con datos del SINA (2022) y del SIAP (2022).

Al igual que la prueba Jarque-Bera lo primero que se debe de hacer es plantear las hipótesis correspondientes. La hipótesis nula (H_0) indica que los residuos se distribuyen de forma normal, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) señala que los residuos no están distribuidos de forma normal.

La tabla 5.10 muestra los resultados de la prueba Shapiro-Wilk, la cual indica que no se debe de rechazar la hipótesis nula (H_0). Esto se debido a que el valor p obtenido es 0.9573, el cual es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, con un nivel de confianza del 95%, se puede afirmar que los residuos siguen una distribución normal.

Los resultados de las pruebas Jarque Bera y de Shapiro-Wilk indican que la regresión presenta normalidad en los residuos. Por tanto, se cumple el supuesto de normalidad lo que indica que hasta el momento los resultados de la regresión son confiables.

Pruebas de heterocedasticidad

En esta sección se presentan dos pruebas para detectar la presencia o ausencia de heterocedasticidad, las cuales son la prueba de Breusch-Pagan-Godfrey y la prueba de White. Ambas son explicadas detalladamente en el capítulo 2 de esta investigación.

Tabla 5.11:*Prueba Breusch-Pagan-Godfrey*

F-statistic	4.550508	Prob. F(1,14)	0.0511
Obs*R-squared	3.924859	Prob. Chi-Square(1)	0.0476
Scaled explained SS	2.485901	Prob. Chi-Square(1)	0.1149

Elaboración propia con datos del SINA (2022) y del SIAP (2022).

El primer paso para interpretar la prueba de Breusch-Pagan-Godfrey consiste en establecer las hipótesis correspondientes. La hipótesis nula (H_0) postula la ausencia de heterocedasticidad. Por otro lado, la hipótesis alternativa (H_1) indica la presencia de heterocedasticidad.

Después de analizar los resultados obtenidos en la tabla 5.11, se llega a la conclusión de que no se puede afirmar con un nivel de confianza del 95% que la regresión cumple con el supuesto de homocedasticidad. Esto se debió a que no todas las probabilidades chi-cuadrada son mayores que 0.05.

Debido a que la prueba anterior no permite afirmar o negar la presencia de heterocedasticidad, a continuación, se procede a realizar la prueba de White.

Tabla 5.12:*Prueba White*

F-statistic	2.157244	Prob. F(2,13)	0.1552
Obs*R-squared	3.986940	Prob. Chi-Square(2)	0.1362
Scaled explained SS	2.525222	Prob. Chi-Square(2)	0.2829

Elaboración propia con datos del SINA (2022) y del SIAP (2022).

Para poder aplicar la prueba de White primero se deben de plantear las hipótesis correspondientes. La hipótesis nula (H_0) postula la ausencia de heterocedasticidad. Por otro lado, la hipótesis alternativa (H_1) indica la presencia de heterocedasticidad.

La tabla 5.12 muestra los resultados de la prueba de White, los cuales revelan que no se debe de rechazar la hipótesis nula (H_0). Esto debido a que todas las probabilidades

chi-cuadrada son mayores que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, con un nivel de confianza del 95%, se puede afirmar por medio de la prueba de White que la regresión cumple con el supuesto de homocedasticidad.

Autocorrelación

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 2 de esta investigación, otro problema que podría afectar la confiabilidad de los resultados obtenidos en la regresión es la autocorrelación. Debido a lo anterior, a continuación, se aplicarán las pruebas de Durbin-Watson y Breusch-Godfrey para determinar la presencia o ausencia de autocorrelación.

Tabla 5.13:

Prueba Durwin-Watson

Autocorrelación positiva (rechaza H_0)	Indecisión		No existe autocorrelación		Indecisión		Autocorrelación negativa (rechaza H_0)
(0,dl)	(dl,du)		(du, 4-du)		(4-du, 4-dl)		(4-dl,4)
0	1.106	1.371	1.371	2.629	2.629	2.894	4
Número de variables explicativas	1						
Número de observaciones	16						
Durbin-Watson stat	1.226934						

Elaboración propia con datos del SINA (2022) y del SIAP (2022).

Los resultados mostrados en la tabla 5.13 indican que no hay pruebas suficientes para rechazar o aceptar la presencia de autocorrelación. Esto debido a que el valor Durbin-Watson, el cual es de 1.2270, se encuentra dentro del intervalo (1.106, 1.371), el cual representa una la zona de indecisión.

Cabe mencionar que, el indicador Durbin-Watson no es muy confiable cuando se están usando pocas observaciones y que este tiene limitaciones debido a que solo toma en cuenta el primer rezago (Gujarati y Porter, 2010).

Tabla 5.14:**Prueba Breusch-Godfrey**

F-statistic	3.135791	Prob. F(2,12)	0.0802
Obs*R-squared	5.491879	Prob. Chi-Square(2)	0.0642

Elaboración propia con datos del SINA (2022) y del SIAP (2022)

Debido a la indecisión anterior, se procedió a utilizar otra prueba llamada Breusch-Godfrey la cual toma en cuenta dos rezagos. Para empezar, se deben de plantear las hipótesis correspondientes. La hipótesis nula (H_0) postula la no presencia de autocorrelación. Por otro lado, la hipótesis alternativa (H_1) indica la presencia de autocorrelación.

Los resultados de la prueba Breusch-Godfrey indican que no se debe de rechazar la hipótesis nula (H_0). Esto debido a que la probabilidad chi cuadrada es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, con un nivel de confianza del 95%, se puede afirmar por medio de la prueba de Breusch-Godfrey que no existe presencia de autocorrelación.

5.1.3.- Resultados de la regresión

Una vez analizados los resultados de las pruebas anteriores. Se puede afirmar que la regresión realizada no presenta problemas de normalidad, heteroscedasticidad ni autocorrelación. Por lo tanto, se afirma con un 95% de confianza que los estimadores obtenidos son confiables. Teniendo en cuenta lo anterior se procede a interpretar los resultados de la ecuación obtenida mediante la regresión.

$$Y = \beta_1 + \beta_2 * X_1$$

Donde:

$$\beta_1 = 411,000,000,000$$

$$\beta_2 = 1,158,375$$

X_1 = Superficie aguacatera de riego (Ha)

Y = Volumen de extracción de agua de uso agrícola (litros)

Por lo tanto, la ecuación estimada indica que con una hectárea adicional de aguacate de riego plantada el consumo de agua de uso agrícola aumentará en 1,158,375 litros, los cuales se sumaran a los 411,000,000,000 que no están determinados por el comportamiento de la superficie aguacatera en Michoacán. Sumando estos dos se obtiene el consumo total estimado del volumen de extracción de agua de uso agrícola.

La superficie aguacatera influye de manera significativa sobre el volumen de extracción de agua agrícola en el estado de Michoacán. Considerando los parámetros obtenidos en la ecuación estimada y asumiendo que la superficie aguacatera de riego mantuvo la misma extensión que en 2020, es decir 64,807.65 hectáreas, se estima que este cultivo consume aproximadamente el 15.4445% del total de agua destinada al uso agrícola en el estado de Michoacán.

Cabe señalar que, como se mencionó anteriormente se convirtió la variable explicada de hectómetros cúbicos a litros para su interpretación. Lo anterior permite comparar los resultados obtenidos a través de la regresión, con los datos elaborados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFIAP).

Tabla 5.15:

Programa de riego (litros/árbol/semana) aplicable al aguacate en Michoacán, según la edad del cultivo y del clima predominante.

Edad (años)	Clima	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
1 - 3	A(C)w ₂	22.7	25.2	25.2	36.5	37.8	39.1
	Cw ₂	16.4	18.9	22.7	30.2	32.8	37.3
	(A)Cw ₁	25.2	26.5	30.2	40.3	44.1	49.1
3 - 6	A(C)w ₂	189.0	210.0	210.0	304.5	315.0	325.5
	Cw ₂	136.5	157.5	189	252.0	273.0	310.8
	(A)Cw ₁	210.0	220.5	252.0	336.0	367.5	409.5
> 6	A(C)w ₂	504.0	560.0	560.0	812.0	840.0	868.0
	Cw ₂	176.4	185.2	211.7	282.2	308.7	344.0
	(A)Cw ₁	560.0	588.0	672.0	896.0	980.0	1,092.0

Tomado del INIFAP (2009, p. 26).

La tabla 5.15 señala que el consumo de agua destinada a la plantación de aguacate está en función de la temperatura, de la edad del árbol y del mes. Entonces cada lugar donde se encuentre la superficie sembrada de aguacate en Michoacán tendrá un consumo diferente.

En la ecuación obtenida los datos están en años. Por lo tanto, los resultados indican que en una hectárea de plantación de aguacate de riego se destinan 1,158,375 litros de agua al año, si se toma por ejemplo una densidad de 200 árboles se tendrían 5791.875 litros por cada árbol al año o lo que es lo mismo 111.38 litros a la semana.

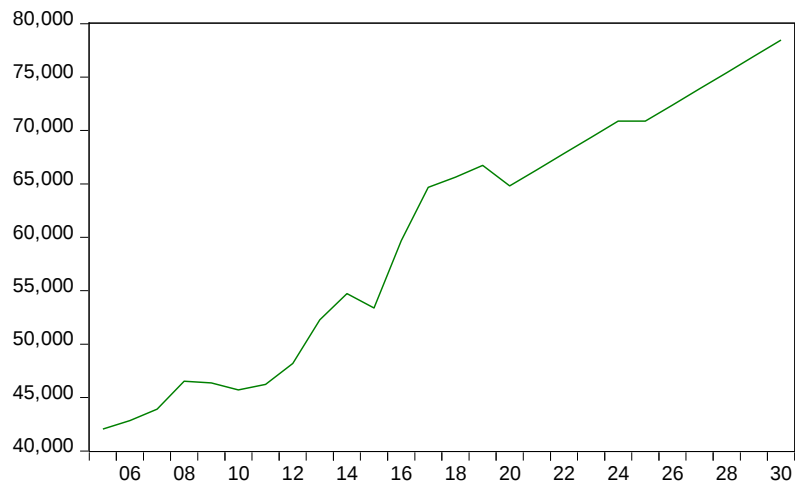
Comparando lo anterior con lo mostrado en la tabla 5.15, se puede concluir que el valor estimado del consumo de agua de cada árbol de aguacate por semana en Michoacán, obtenido mediante la regresión, está por debajo de todos los valores calculados por el INIFIAP para árboles mayores a tres años en todos los tipos de climas presentes en el estado de Michoacán.

Proyección

Mediante la ecuación obtenida a través de la regresión, se puede estimar el comportamiento que tendrá el volumen de extracción de agua agrícola con respecto a la superficie de aguacate de riego. Para este análisis se consideraron dos escenarios diferentes. El primer escenario corresponde a un hipotético crecimiento aritmético de la superficie aguacatera de riego, mientras que el segundo supone un crecimiento geométrico.

Figura 5.11:

Proyección aritmética de la superficie aguacatera de riego (Ha) en Michoacán (2005-2030)



Elaboración propia con datos del SIAP (2022)

La proyección realizada en la figura 5.11 muestra el comportamiento que tendría un hipotético crecimiento aritmético de la superficie aguacatera de riego en Michoacán. Bajo este escenario la extensión que ocuparía la superficie aguacatera de riego del estado de Michoacán sería de 78,456.54 hectáreas para el año de 2030.

Tabla 5.16:

Proyección del modelo tomando en cuenta un crecimiento aritmético

Año	$Y = \beta_1 + \beta_2 * X_1$	Proyección aritmética de X_1	$\beta_2 * X_1$
2021	487,828,287,452.50	66,324.19	76,828,287,453
2022	489,585,013,336.25	67,840.74	78,585,013,336
2023	491,341,739,220.00	69,357.28	80,341,739,220
2024	493,098,465,103.75	70,873.82	82,098,465,104
2025	493,098,465,103.75	70,873.82	82,098,465,104
2026	494,855,190,987.50	72,390.37	83,855,190,988
2027	496,611,916,871.25	73,906.91	85,611,916,871
2028	498,368,642,755.00	75,423.45	87,368,642,755
2029	500,125,368,638.75	76,940.00	89,125,368,639

2030	501,882,094,522.50	78,456.54	90,882,094,523
------	--------------------	-----------	----------------

Elaboración propia con datos del SIAP (2022)

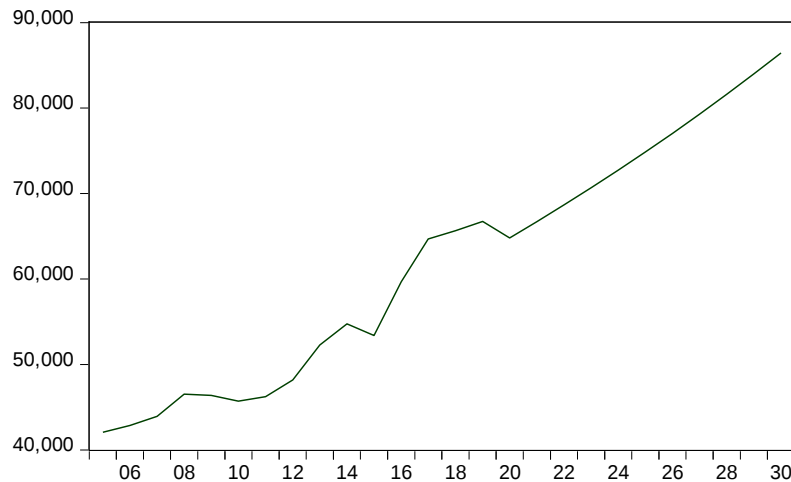
Si bien, la figura 5.11 muestra de forma gráfica cómo se vería la tendencia del crecimiento aritmético en la superficie aguacatera del estado de Michoacán. Por otro lado, la tabla 5.16 muestra la proyección de la extensión de la superficie agrícola de aguacate de riego en el futuro, proyectada en la columna X_1 , tomando en cuenta el tipo de crecimiento mencionado anteriormente. Según esta proyección, para el año 2030, se espera que la superficie aguacatera de riego alcance las 78,456.54 hectáreas. Esta situación supondría una extracción de agua destinada a la superficie aguacatera de 90,882,094,523 litros anuales.

Tomando en cuenta lo anterior y utilizando la ecuación generada por la regresión, se estima que en 2030 la extracción de agua de uso agrícola en el estado de Michoacán aumentará hasta alcanzar los 501,882,094,522.50 litros anuales. Bajo este hipotético escenario, la plantación de aguacate de riego representaría aproximadamente el 18.1083% del agua agrícola utilizada en el estado de Michoacán.

A continuación, se proyectará un caso hipotético donde se supone un crecimiento geométrico la superficie aguacatera de riego. Este escenario reflejará una situación donde existe un crecimiento más agresivo de esta.

Figura 5.12:

Proyección geométrica de la superficie aguacatera de riego (ha) en Michoacán (2005-2030)



Elaboración propia con datos del SIAP (2022)

La figura 5.12 muestra una proyección notablemente más optimista que la realizada en la figura 5.11. Esto a pesar de que se realizó exactamente con los mismos datos. La diferencia es que en esta proyección se plantea el caso hipotético de que la superficie aguacatera crece de manera geométrica.

Para poner en contraste, según la tabla 5.17, si la superficie de aguacate de riego en Michoacán experimentara un crecimiento aritmético, esta alcanzaría una extensión de 78,456.54 hectáreas para 2030. Por otro lado, si esta presentara un crecimiento geométrico, la superficie se extendería a 81,614.2693 hectáreas para el mismo año. Lo anterior supone una diferencia de 3,157.73 hectáreas entre estos escenarios.

Tabla 5.17:

Proyección del modelo tomando en cuenta un crecimiento geométrico

Año	$Y = \beta_1 + \beta_2 * X_1$	Proyección geométrica de X_1	$\beta_2 * X_1$
2021	488,266,800,230.02	66,702.7519	77,266,800,230
2022	490,526,231,944.95	68,653.2703	79,526,231,945
2023	492,851,733,843.44	70,660.8256	81,851,733,843

2024	495,245,237,946.34	72,727.0857	84,245,237,946
2025	497,708,732,770.52	74,853.7674	86,708,732,771
2026	500,244,264,980.99	77,042.6373	89,244,264,981
2027	502,853,941,091.21	79,295.5141	91,853,941,091
2028	505,539,929,213.21	81,614.2693	94,539,929,213
2029	508,304,460,858.83	84,000.8295	97,304,460,859
2030	511,149,832,793.66	86,457.1773	100,149,832,794

Elaboración propia con datos del SIAP (2022)

La figura 5.12 muestra de forma gráfica como se vería la tendencia del crecimiento geométrico en la superficie aguacatera del estado de Michoacán. Por otro lado, la tabla 5.17 muestra la proyección de la extensión de la superficie agrícola de aguacate de riego en el futuro, proyectada en la columna X_1 , tomando en cuenta el tipo de crecimiento mencionado anteriormente. Según esta proyección, para el año 2030, se espera que la superficie aguacatera de riego alcance las 86,457.1773 hectáreas. Esta situación supondría una extracción de agua destinada a la superficie aguacatera de riego de 100,149,832,794 litros anuales.

Si se utiliza la ecuación estimada a través de la regresión, se tiene que para 2030 la extracción de agua de uso agrícola en el estado de Michoacán aumentará hasta alcanzar los 511,149,832,793.66 litros anuales. Bajo este hipotético escenario, la plantación de aguacate de riego representaría aproximadamente el 19.5930% del agua agrícola utilizada en el estado de Michoacán.

5.1.3.- Aumento de los flujos hídricos

Con todo lo expuesto anteriormente, se puede observar que la apertura comercial ha promovido que, en Michoacán debido a diversos factores, tanto económicos como naturales, se asiente una producción de riego con alta presencia de frutas con un elevado precio medio rural. Dentro de estas destaca el aguacate, el cual presenta un alto consumo de agua en Michoacán.

Por otro lado, teniendo en cuenta la sistematización planteada anteriormente en la figura 4.10, se puede afirmar que la superficie aguacatera de riego en Michoacán requiere una parte importante del agua de uso agrícola del estado. Por lo tanto, se puede asumir que tanto su crecimiento como también el de la superficie agrícola en general significaría

un crecimiento en el volumen de agua extraído del sistema hídrico y el cual es consumido por el subsistema agrícola del estado de Michoacán.

Es importante señalar que no solo se está haciendo referencia a un aumento en el consumo de agua por parte del subsistema agrícola, también en el caso del agua consumida por las principales frutas de exportación se estarían presentando importantes flujos hídricos de salida del sistema hídrico de Michoacán hacia otros sistemas hídricos.

En conclusión, las principales frutas de exportación, como lo es el aguacate, estarán ocasionado; por un lado, incrementos importantes en la explotación de agua del sistema hídrico; y, por otra parte, incrementos importantes en los flujos hídricos que salen del sistema hídrico de Michoacán.

5.2 La recarga de agua en Michoacán

El agua es un elemento primordial, en ausencia de esta la vida de los organismos sería insostenible, porque ninguno de estos sobrevive sin ella. Por ejemplo, las plantas necesitan del agua para poder efectuar el proceso de fotosíntesis. Mientras que, en los animales, el agua es indispensable para realizar ciertas reacciones bioquímicas dentro de sus células, además está también disuelve y transporta las sustancias necesarias para la alimentación celular, mientras que también ayuda a expulsar toxinas de sus organismos en forma de orina y sudor (Torras, 2015).

Por lo anterior, es razonable suponer que, en la ausencia de agua, las condiciones naturales que permiten reproducción de la vida de los organismos, incluido el ser humano, no existirían.

Dejando de lado lo anterior, el agua también es de vital importancia para todo proceso de producción de mercancías. Por ejemplo, la agricultura necesita de grandes cantidades de agua para poder producir cultivos.

5.2.1.- El agua un factor que determina espacialmente la distribución de la superficie agrícola

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante analizar si los volúmenes de agua extraída para la agricultura por municipio influyen sobre la forma en cómo se distribuye la agricultura en Michoacán. Para realizar este análisis, es importante primero afirmar que la distribución espacial de la agricultura en el estado no se da de forma aleatoria.

Para saber si la superficie agrícola del estado de Michoacán se distribuye espacialmente de manera aleatoria, o si, por el contrario, se distribuye siguiendo algún patrón determinado, se necesita analizar si existe algún tipo de **autocorrelación espacial** a través del método del índice de Moran. Este se describió en el capítulo 2 de esta investigación.

Para realizar este análisis de autocorrelación espacial, el primer paso fue construir la matriz de pesos espaciales, siguiendo lo descrito en el capítulo 2. Inicialmente, se reunió información sobre el tamaño de la superficie agrícola en Michoacán a nivel municipal. Posteriormente, después de analizar la pertinencia de los diferentes tipos de asociaciones, se optó por crear la matriz de pesos espaciales utilizando la asociación tipo reina.

Una vez sabiendo el tipo de asociación, se realizó a través del programa GeoDa la matriz de pesos espaciales (tabla 5.18). El programa indicó que se analizaron cada uno de los 113 municipios del estado de Michoacán. Los resultados muestran que el municipio con el menor número de vecinos presentó únicamente 2 vecinos, mientras que el municipio con el mayor número de vecinos tuvo 14. Por otro lado, la media de vecinos para los municipios de Michoacán fue de 5.12.

Tabla 5.18:

Matriz de pesos espaciales

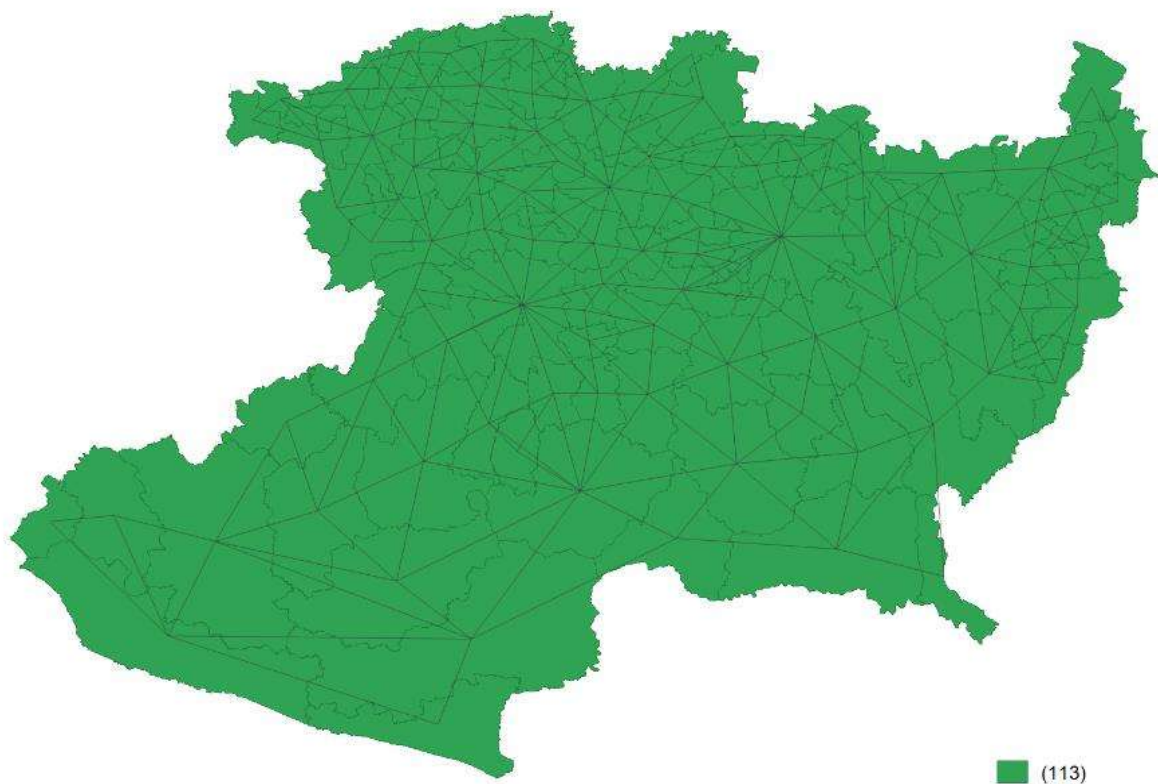
Propiedad	Valor
Tipo	Reina
Identificador de la variable	Clave municipal
Orden	1
Observaciones	113
Mínimo de vecinos	2
Máximo de vecinos	14
Media de vecinos	5,12

Elaboración propia

Teniendo la información de la matriz de pesos espaciales se procedió a la creación de un mapa de conectividad, el cual permite observar de manera gráfica la cantidad de vecinos que tiene cada uno de los municipios de Michoacán. En la figura 5.13 se puede observar que en Michoacán existen municipios que mantienen gran cantidad de vecindades como es el caso de Morelia y Uruapan.

Figura 5.13:

Mapa de conectividad

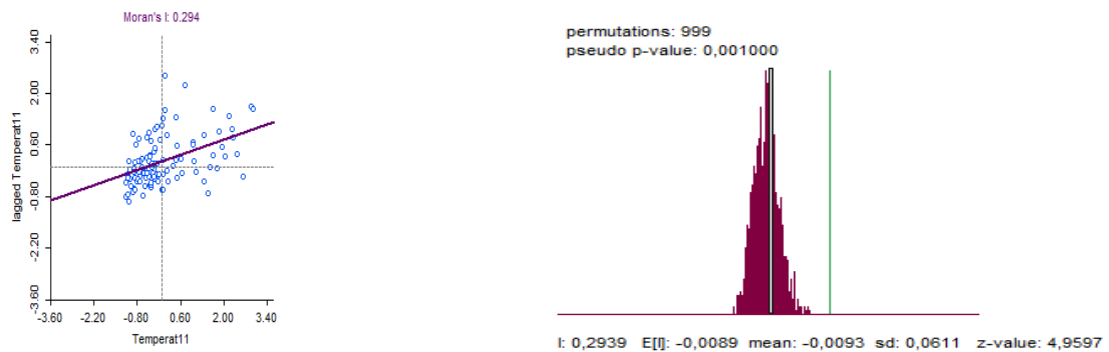


Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

Posteriormente, se procedió a calcular el índice de Moran de la variable tamaño de la superficie agrícola en Michoacán, esto mediante el programa GeoDa (figura 5.14). Lo anterior, con el objetivo de conocer si esta variable presenta o no autocorrelación espacial.

Figura 5.14:

Índice de Moran univariado, diagrama de dispersión



Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

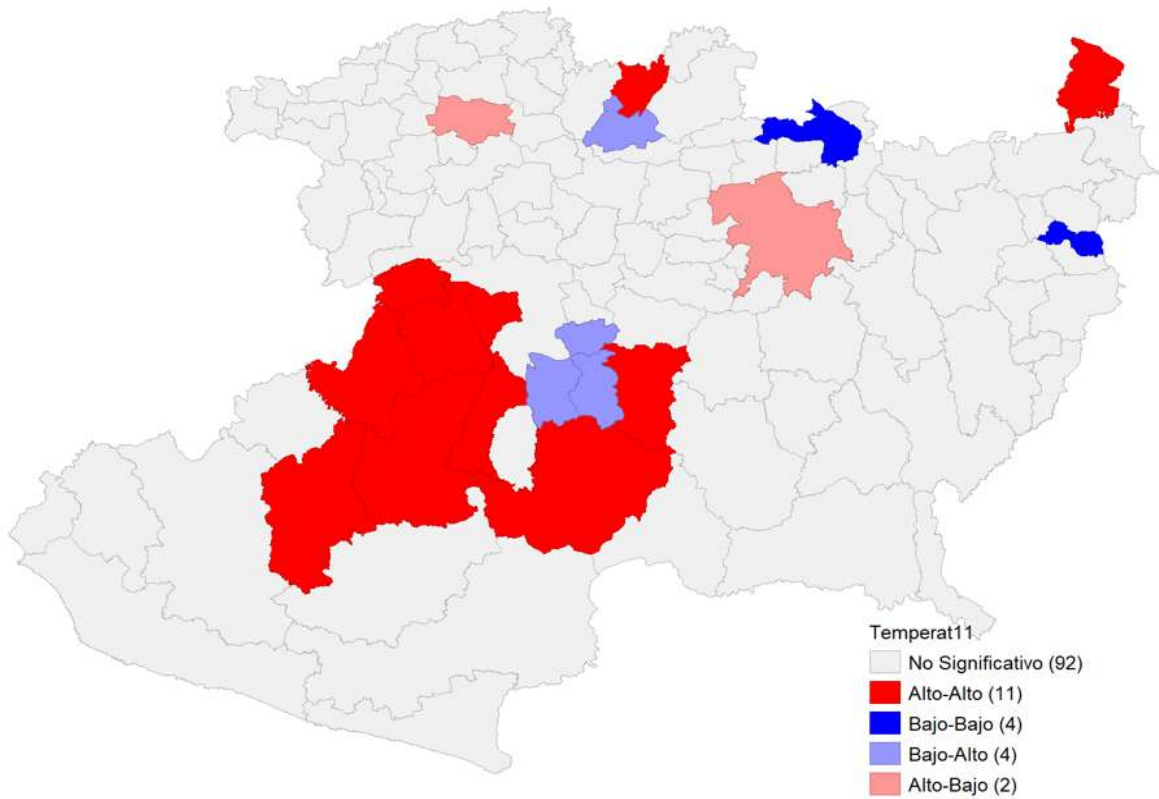
En el lado izquierdo de la figura 5.14 se puede observar en un diagrama de dispersión los resultados del índice de Moran que presentó la superficie agrícola del estado de Michoacán. El valor del índice de Moran es de 0.294, lo cual indica que de existir autocorrelación esta sería de tipo positiva. Es decir, dentro de este territorio se estarán encontrando asociaciones de valores similares, por ejemplo, valores altos con altos y valores bajos con bajos.

Por otro lado, en la parte derecha de la figura 5.14 se encuentra la prueba de 999 permutaciones, la cual permite afirmar o negar la presencia de autocorrelación espacial. Como se mencionó en el capítulo 2 de esta investigación, si se considera una confianza del 95%, el valor p tendrá que ser menor a 0.05, mientras que el Z score no tendrá que encontrarse dentro del intervalo $[-1.96, 1.96]$. En este caso el valor p es de 0.001 y el Z score es de 4.9597. Por lo tanto, se puede afirmar con un 95% de confianza que existe autocorrelación espacial en la superficie agrícola del estado de Michoacán.

Como se mencionó en el capítulo 2, los resultados calculados por el índice de Moran pueden ser interpretados por medio de un mapa. Esto se hace con el propósito de identificar la presencia de clusters distribuidos por el territorio. Es por esto, que a continuación en la figura 5.15, se muestra un mapa que contiene los resultados obtenidos a través del índice de Moran elaborado en la figura 5.14. La interpretación de los resultados mostrados en el mapa está basada en la figura 2.11.

Figura 5.15:

Mapa del índice de Moran univariado



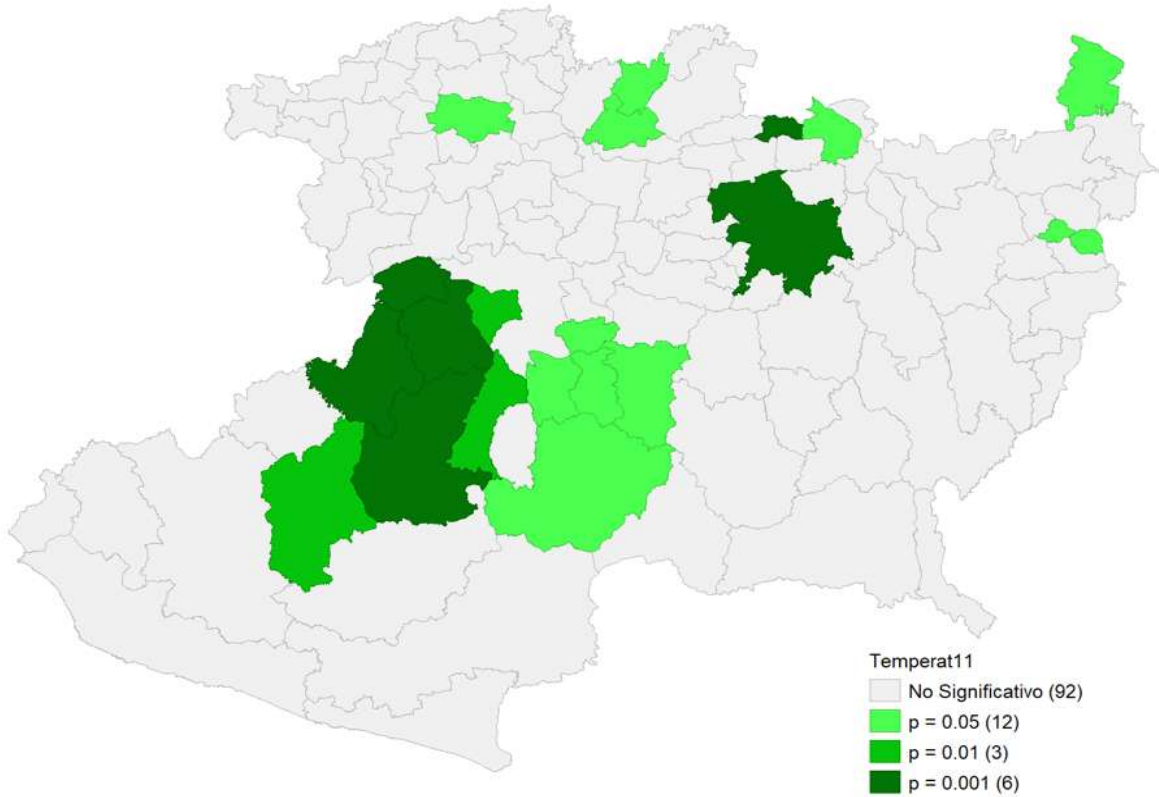
Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

En la figura 5.15 se puede observar la presencia de distintos clusters. Los municipios iluminados con un color sólido indican presencia de autocorrelación positiva, mientras que los que presentan un color traslucido indican autocorrelación negativa. Cabe resaltar que en el centro del estado de Michoacán en municipios como los son Tancítaro, Nuevo Parangaricutiro, Peribán, entre otros, presentan una agrupación importante de valores altos en cuanto a la superficie agrícola.

Por otro lado, es importante señalar que todos los valores expresados en la figura 5.15 contienen valores de por lo menos al 95% de confianza, tal como se puede observar en la figura 5.16, donde se indica el nivel de significancia estadística de cada uno de los clusters.

Figura 5.16:

Mapa de significancia de los resultados



Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

Una vez demostrado que la superficie agrícola del estado de Michoacán no se distribuye espacialmente de forma aleatoria, sino que su distribución obedece a un patrón determinado. Se busca descubrir cuales son las variables que pueden influir en la distribución espacial de la superficie agrícola del estado de Michoacán. Como se dijo en párrafos anteriores, el agua es de vital importancia para la existencia de la vida y también es un elemento fundamental para que se puedan producir cultivos.

Es por lo anterior, que a continuación se busca revelar cómo influye el agua en la ubicación espacial de la agricultura en el estado de Michoacán. Tomando en cuenta lo anterior es que se eligieron las siguientes variables:

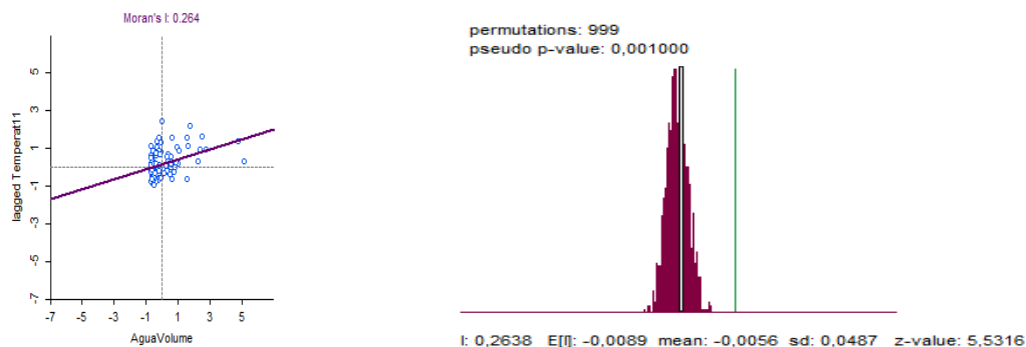
Volumen de extracción de aguas nacionales (m³/año), esta se calculó a través del filtrado de información en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) y solo contempla el agua concesionada al uso agrícola de cada municipio del estado de Michoacán. Para este análisis fue llamada como AguaVolume.

Superficie sembrada (Ha), esta se filtró a través de la información proporcionada por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Para este análisis fue llamada como Temperat11.

Este análisis no se puede realizar por medio del índice de Moran univariado, como se hizo anteriormente para determinar la autocorrelación espacial de la superficie agrícola del estado de Michoacán, pero como se mencionó en el capítulo 2, el índice de Moran puede utilizarse en el análisis simultaneo de dos variables. Este es conocido como índice de Moran bivariado.

Figura 5.17:

Índice de Moran bivariado



Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

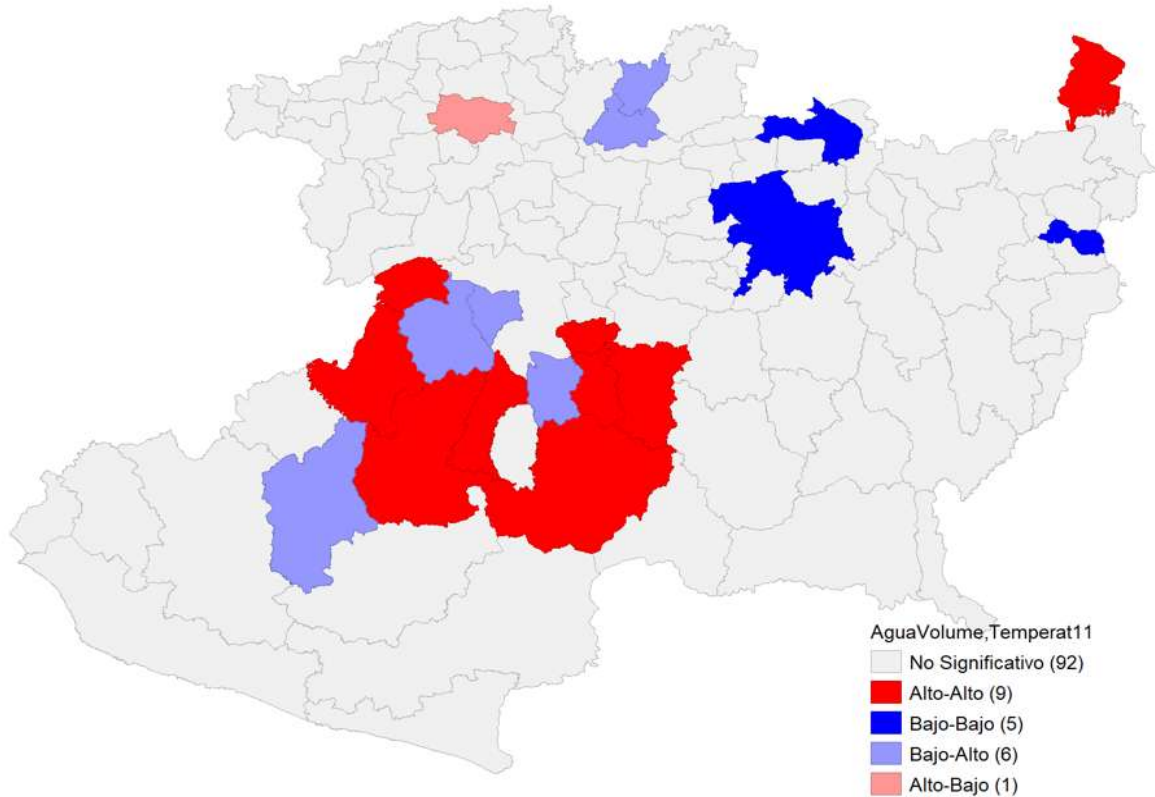
Los resultados del índice de Moran bivariado planteado anteriormente, se encuentran en la figura 5.17, donde en la parte izquierda se puede observar que se trata de una correlación positiva debido a la forma en cómo se distribuyen los datos a través de los cuadrantes y por el valor del índice de Moran el cual es de 0.264.

Por otro lado, la parte derecha de la figura 5.17, muestra la prueba de 999 permutaciones, la cual permite afirmar o negar la presencia de autocorrelación espacial. Como se mencionó anteriormente si se toma en cuenta un nivel de confianza del 95%, el valor p tendrá que ser menor a 0.05, mientras que el Z score no tendrá que encontrarse dentro del intervalo $[-1.96, 1.96]$. En este caso el valor p es de 0.001 y el Z score es de 5.5316. Por lo tanto, se puede afirmar con un 95% de confianza, que existe autocorrelación espacial en la relación entre superficie agrícola del estado de Michoacán y el volumen de extracción de aguas nacionales para uso agrícola.

Es importante señalar que es posible generar un mapa utilizando los datos calculados a través del índice de Moran bivariado. Este mapa permitirá identificar la presencia de distintos tipos de clusters a lo largo del estado de Michoacán.

Figura 5.18:

Mapa del Índice de Moran bivariado



Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

Los resultados mostrados en la figura 5.18 se interpretan de forma similar a como se hizo en la figura 5.15. Los municipios pintados con un color sólido indican presencia de autocorrelación espacial positiva, mientras que los municipios pintados con un color traslucido indican presencia de autocorrelación negativa. En este caso cabe resaltar un gran cluster de municipios con valores altos pintado en rojo sólido, lo cual indica que municipios como lo son Peribán, Buena Vista, Apatzingán entre otros, presentan valores altos tanto de superficie agrícola como de volumen de extracción de aguas nacionales en el estado de Michoacán.

En otras palabras, en la figura 5.18, los municipios iluminados en color rojo sólido muestran de manera simultánea un alto volumen de agua destinada a la agricultura y una extensa superficie agrícola, y además están rodeados por municipios con el mismo

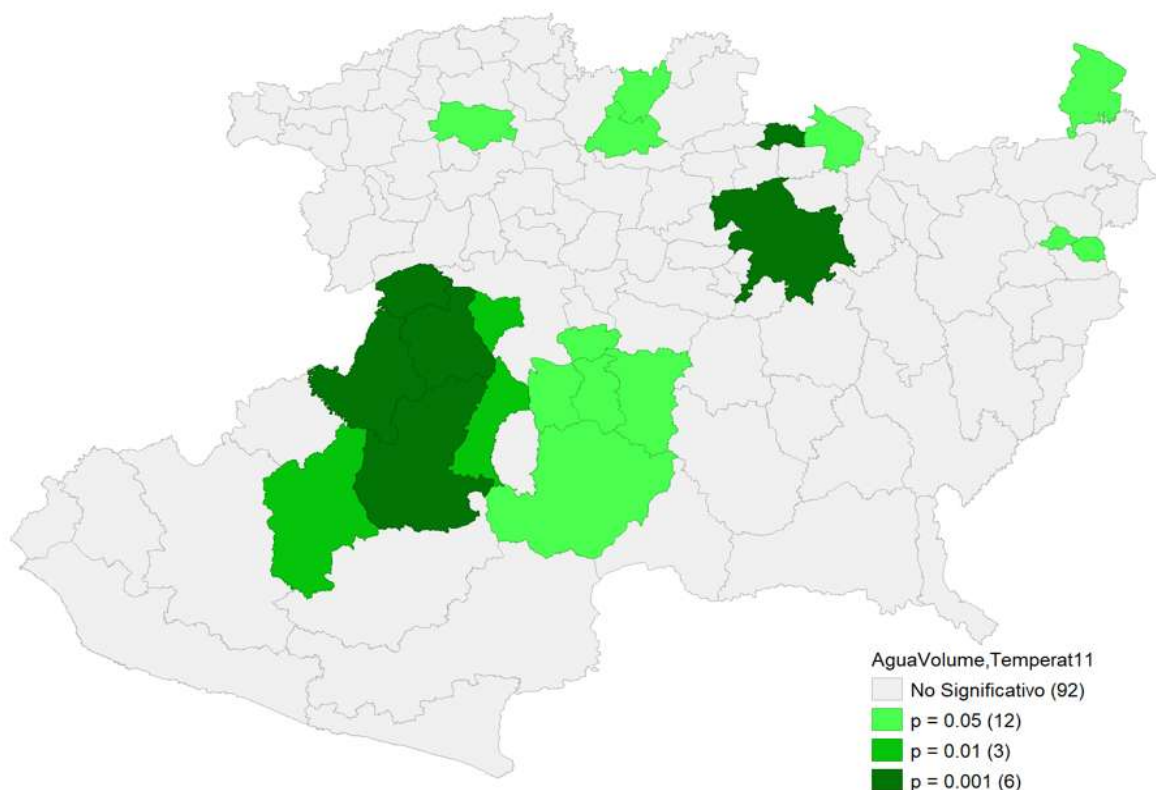
comportamiento. Por otro lado, aquellos pintados en azul sólido muestran simultáneamente un bajo volumen de agua destinada a la agricultura y una superficie agrícola reducida, y también se ven rodeados por municipios con el mismo patrón.

Es importante señalar que, en la figura 5.18, los municipios que están pintados en color rojo traslucido presentan de manera simultánea un alto volumen de agua destinada a la agricultura y una extensa superficie agrícola, pero están rodeados por municipios con un comportamiento contrario. Por otro lado, los municipios pintados en azul sólido muestran simultáneamente un bajo volumen de agua destinada a la agricultura y una superficie agrícola reducida, pero también se ven rodeados por municipios con un mismo comportamiento distinto.

De la misma manera en cómo se hizo anteriormente, se procede a mostrar un mapa de significancia que muestre el nivel de confianza de cada uno de los resultados mostrados en la figura 5.18. En la figura 5.19 se puede observar cómo cada uno de los municipios que presentan autocorrelación, sea esta positiva o negativa, tienen un nivel de confianza por encima del 95%.

Figura 5.19:

Mapa de significancia del índice de Moran bivariado



Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

Una vez demostrada la existencia de autocorrelación espacial de la superficie agrícola de Michoacán y el volumen de extracción de aguas nacionales en el estado de Michoacán, se procede a realizar una regresión para poder estimar la relación entre estas dos variables.

Para generar una regresión con las variables anteriormente mencionadas, lo primero que procede es determinar la ecuación genérica, la cual sería la siguiente:

$$Y = \beta_1 + \beta_2 * X_1$$

Donde:

$$Y = \text{Temperat11}$$

$X_1 = \text{AGUAVOLUME}$

$\beta_1 =$ Estimador o parámetro

$\beta_2 =$ Estimador o parámetro

Sustituyendo:

$\text{Temperat11} = \beta_1 + \beta_2 * \text{AGUAVOLUME}$

Teniendo en cuenta lo anterior se elaboró la siguiente regresión lineal a través del Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), con la cual se estimó que el valor del parámetro β_1 es de 6262.287, mientras que el valor del estimador β_2 es de 0.000190. Cabe resaltar que según la prueba T mostrada en la tabla 5.19 ambos estimadores son confiables a más de 95%, esto debido a que la probabilidad en ambos casos es menor que el nivel de significancia de 0.05.

Tabla 5.19:

Regresión lineal

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AGUAVOLUME	0.000190	2.32E-05	8.188832	0.0000
β_1	6266.464	617.9498	10.14073	0.0000

Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

Una vez analizado los resultados de la tabla 5.19 se necesita evaluar los valores correspondientes al F estadístico, esto con el fin de validar o desechar los resultados de la regresión. Posteriormente se evalúan el coeficiente de determinación.

Tabla 5.20:

Coeficiente de determinación y F estadístico

R-squared	0.376604
Adjusted R-squared	0.370988
F-statistic	67.05697
Prob(F-statistic)	0.000000

Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

Comenzando por el F estadístico, se puede observar la probabilidad de este es menor al nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, se puede asumir que la regresión es válida y que hasta el momento el valor de los parámetros calculados es confiable, por lo menos al 95% de confianza.

Por otro lado, la tabla 5.20 también muestra que la capacidad explicativa de la regresión es relativamente baja. Esto debido a que el coeficiente de determinación es de 0.3766. Cabe resaltar que esto no significa que la regresión tenga algún error, simplemente la capacidad explicativa de la regresión no es tan alta.

Pruebas de normalidad

Aunque anteriormente se llevaron a cabo algunas pruebas para evaluar la normalidad de los datos en la regresión, en este caso solo se empleará la prueba Jarque-Bera para detectar dicho problema.

Prueba Jarque Bera

Para evaluar la prueba de normalidad Jarque-Bera primero se deben de plantear las siguientes hipótesis. La hipótesis nula (H_0) indica que los residuos se distribuyen de forma normal, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) señala que los residuos no están distribuidos de forma normal.

Tabla 5.21:

Prueba Jarque-Bera

Jarque-Bera Normality Test	
Jarque-Bera	55.73039
P-value	0.0000

Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

La prueba Jarque Bera mostrada en la tabla 5.21 revela que se debe de rechazar la hipótesis nula (H_0). Esto debido a que el valor p obtenido es 0.8399, el cual es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, hay suficiente evidencia para concluir que los residuos no se distribuyen normalmente.

Debido a que anteriormente se detectó no normalidad en los residuos, se recurre a la aplicación de uno de los métodos correctivos para enfrentar este problema, el cual consta de transformar la función de la regresión. Ahora la regresión incluirá logaritmos en sus variables para mitigar el problema de la no normalidad de los datos. Por lo tanto, se tendrá la siguiente función:

$$\text{LOGY} = \beta_1 + \beta_2 * \text{LOGX}_1$$

Donde:

LOGY= logaritmo de la variable Temperat11

LOGX₁= Logaritmo de la variable AGUAVOLUME

β_1 = Estimador o parámetro

β_2 = Estimador o parámetro

Tomando como base la función anterior, se elaboró una nueva regresión a través del Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), la cual estimó que el valor del parámetro β_1 es de 5.1613, mientras que el valor del estimador β_2 es de 0.2388. Según la prueba T mostrada en la tabla 5.22 ambos estimadores son confiables a más de 95%, esto debido a que la probabilidad en ambos casos su valor p es menor que el nivel de significancia estadística de 0.05.

Tabla 5.22:*Regresión lineal*

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(AGUAVOLUME)	0.238787	0.033137	7.205974	0.0000
β_1	5.161255	0.514548	10.03066	0.0000

Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

Si bien hasta el momento los parámetros calculados en la tabla 5.22 son confiables se necesitan evaluar los valores correspondientes al F estadístico para determinar que la regresión es confiable. Después de evaluar el F estadístico se tiene que analizar el valor del coeficiente de determinación para analizar la capacidad explicativa de la regresión.

Tabla 5.23:*Coeficiente de determinación y F estadístico*

R-squared	0.376604
Adjusted R-squared	0.370988
F-statistic	67.05697
Prob(F-statistic)	0.000000

Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

Por un lado, el F estadístico en la tabla 5.23 indica que la regresión es estadísticamente válida al menos al 95% de confianza, ya que la probabilidad es menor que el nivel de significancia de 0.05. Por otro lado, el coeficiente de determinación sigue siendo similar al de la tabla 5.20, lo que sugiere que la capacidad explicativa de la regresión no es muy alta.

Pruebas de normalidad

Anteriormente la regresión presentó problemas de no normalidad en los residuos. Se espera que con la transformación de las variables a logaritmos este problema pueda

quedar solucionado. De la misma manera que en la regresión anterior se optará por la prueba Jarque Bera para la detección de este problema.

Prueba Jarque Bera

Para evaluar la prueba de normalidad Jarque-Bera primero se deben de plantear las siguientes hipótesis. La hipótesis nula (H_0) indica que los residuos se distribuyen de forma normal, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) señala que los residuos no están distribuidos de forma normal.

Tabla 5.24:

Prueba Jarque-Bera

Jarque-Bera Normality Test	
Jarque-Bera	4.305453
P-value	0.116167

Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

La prueba Jarque Bera para este caso (figura 5.24) indica que no se rechaza la hipótesis nula (H_0). Esto debido a que el p valor es de 0.116167, el cual es mayor que el valor de significancia estadística de 0.05. Por lo tanto, se puede afirmar que los residuos se distribuyen de manera normal.

La tabla 5.24 muestra que efectivamente a través de la transformación de las variables a logaritmos se pudo solucionar el problema de no normalidad en los residuos. Por lo tanto, el paso siguiente es verificar que la regresión cumpla con el supuesto de homocedasticidad.

Pruebas de heterocedasticidad

En este apartado se evaluará la regresión por medio de dos pruebas de heterocedasticidad las cuales son la Breusch-Pagan-Godfrey y la prueba White. Ambas sirven para detectar la presencia de heteroscedasticidad.

Tabla 5.25:*Prueba Breusch-Pagan-Godfrey*

F-statistic	0.699017	Prob. F(1,111)	0.4049
Obs*R-squared	0.707159	Prob. Chi-Square(1)	0.4004
Scaled explained SS	0.801342	Prob. Chi-Square(1)	0.3707

Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

Para poder interpretar los resultados de esta prueba, se deben de plantear las hipótesis correspondientes. La hipótesis nula (H_0) postula la no presencia de heterocedasticidad. Por otro lado, la hipótesis alternativa (H_1) indica la presencia de heterocedasticidad.

Los resultados de la prueba Breusch-Pagan-Godfrey indican que no se debe de rechazar la hipótesis nula (H_0). Esto debido a que las probabilidades chi cuadrada son mayores que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, con un nivel de confianza del 95%, se puede afirmar por medio de la prueba de Breusch-Pagan-Godfrey que la regresión cumple con el supuesto de homocedasticidad.

Tabla 5.26:*Prueba White*

F-statistic	0.376996	Prob. F(2,110)	0.6868
Obs*R-squared	0.769281	Prob. Chi-Square(2)	0.6807
Scaled explained SS	0.871739	Prob. Chi-Square(2)	0.6467

Elaboración propia con datos del REPDA (2022) y del SIAP (2022).

Para tener certeza de que la regresión cumple con el supuesto de homocedasticidad se realizó otra prueba, la cual lleva por nombre prueba White. Para poder aplicar esta prueba primero se deben de plantear las hipótesis correspondientes.

La hipótesis nula (H_0) postula la no presencia de heterocedasticidad. Por otro lado, la hipótesis alternativa (H_1) indica la presencia de heterocedasticidad.

Los resultados de la prueba de White (tabla 5.26) señalan que no se debe de rechazar la hipótesis nula. Esto debido a que de la misma manera que en la prueba Breusch-Pagan-Godfrey todas las probabilidades chi-cuadrada son mayores al nivel de significancia estadístico de 0.05. Por lo tanto, la prueba White indica que la regresión anteriormente realizada cumple con el supuesto de homocedasticidad al menos 95% de confianza.

Con el respaldo de los datos obtenidos en las pruebas de normalidad y heteroscedasticidad anteriormente realizadas, se puede concluir con un nivel de confianza del 95%, que la regresión cumple con el supuesto de normalidad y homocedasticidad. Por lo tanto, se puede afirmar que los estimadores calculados en la tabla 5.22 son confiables.

Tomando en cuenta lo anterior, la ecuación estimada sería la siguiente:

$$\text{Log (Temperat11)} = 5.161255 + 0.238787 * \text{Log (AGUAVOLUME)}$$

Cabe señalar que este resultado, obtenido a través de convertir a logaritmos ambas variables (Y, X_1), no puede ser interpretado de la misma forma en que sería interpretada una regresión lineal en sus variables. En este caso los resultados tendrían que asumirse en cambios proporcionales de las variables.

La ecuación anterior señala que con un cambio en una unidad en el logaritmo del volumen de extracción de aguas nacionales ($m^3/año$), se puede esperar en promedio, un aumento de 0.238787 unidades en el logaritmo de la superficie agrícola del estado de Michoacán (Ha). Mientras que el aumento de 5.161255 unidades en el logaritmo de la superficie agrícola del estado de Michoacán (Ha) es constante y está explicado por otras variables que no se tomaron en cuenta en la regresión.

5.2.2.- El desplazamiento de la zona boscosa por la expansión de la frontera agrícola

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 1, el sistema natural no solo puede sufrir agotamiento a través de una extracción de materia y/o energía. También puede

verse reducido por las afectaciones que las extracciones pueden ocasionar sobre las capacidades de resiliencia que este tiene.

Es por eso por lo que en este apartado se buscará identificar si existe un incremento de la superficie del subsistema agrícola del estado de Michoacán y si esta expansión puede provocar la reducción de la superficie boscosa la cual favorece la recarga de agua en el sistema hídrico del estado. Este análisis se realizó a través del estudio del cambio de uso del suelo.

El cambio de uso de suelo puede provocar diversos problemas como lo son el incremento del efecto invernadero, cambio climático, cambios en los ciclos biogeoquímicos y la pérdida de biodiversidad. Si bien todos estos son problemas bastante importantes de abordar, esta investigación se centra únicamente en los problemas que afectan la falta de disponibilidad de agua.

Cabe señalar que las zonas boscosas juegan un papel importante dentro del ciclo del agua, estas permiten mantener la calidad del agua, así como mantener la cantidad disponible de esta (Comisión Nacional Forestal, 2024).

Los bosques mantienen la calidad del agua mediante el filtrado de esta. Es decir, las raíces de los bosques actúan de tal manera que permiten estabilizar el suelo, lo cual evita la erosión hídrica. Lo anterior, permite que el agua se infiltre a través de la hojarasca, el sotobosque y el suelo, teniendo como resultado el filtrado del agua (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2024) y (Rodríguez, Delgado, Area, Lupi y Escobar, 2021).

Las zonas boscosas juegan un papel fundamental en cuanto a la disponibilidad de agua, ya que estas al previenen la erosión hídrica. Esto permite que las raíces profundas de los árboles y la capa orgánica presente en el suelo retengan agua, y faciliten la infiltración de esta para mantener una recarga de los acuíferos óptima (FAO, 2024).

Las zonas boscosas desempeñan un papel crucial en el ciclo del agua a través de la evapotranspiración. Este proceso consta de dos elementos. Por un lado, la evaporación, la cual consiste en la transportación del agua retenida por el ecosistema, tanto en su materia orgánica como en el suelo hacia la atmosfera. Por otro lado, la

transpiración, la cual consiste en la transportación del agua retenida en las raíces de los árboles hacia sus hojas y una vez que se abren las estomas de estas se libera agua hacia la atmósfera (Sabaté, 2009). Este proceso afecta la humedad atmosférica, la cual influye sobre las lluvias y sobre la regulación climática.

Otro factor importante de las zonas boscosas sobre el ciclo hídrico es el efecto de amortiguamiento que estas ofrecen ante el cambio climático. El cual puede provocar desde inundaciones hasta sequías (Rodríguez, Delgado, *et. al*, 2021).

Debido a lo anterior, es importante identificar espacialmente actualmente la distribución espacial de los bosques en Michoacán. El mapa presentado en la figura 5.20 fue creado a través de la capa de información de cambio de uso de suelo serie VII del INEGI y para mostrar los tipos de bosques se utilizó la siguiente categorización:

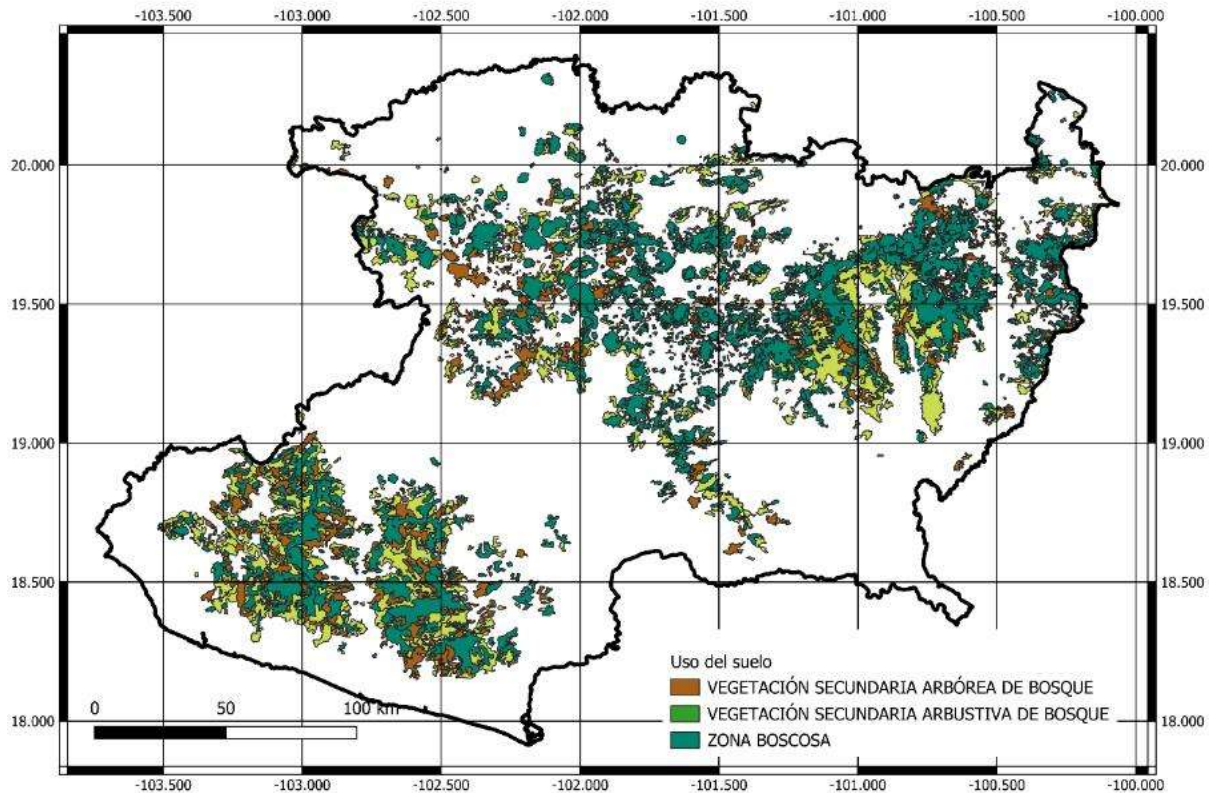
Zona boscosa (Bosque cultivado plantación forestal permanente, bosque de cedro, bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-encino y bosque mesófilo de montaña)

Vegetación secundaria arbórea de bosque (Pino, encino, pino-encino, encino-pino, oyamel, cedro y mesófilo de montaña)

Vegetación secundaria arbustiva de bosque (Pino, encino, pino-encino, encino-pino, cedro y mesófilo de montaña)

Figura 5.20:

Distribución espacial de los bosques en Michoacán 2021



Elaboración propia con datos de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII de INEGI (CONABIO 2023).

La figura 5.20 muestra que los bosques del estado de Michoacán se presentan principalmente muy cerca de la costa del océano pacífico entre las coordenadas [18.000, 19.000] de latitud y [-103.500,-102.000] de longitud y hacia el centro del país entre las coordenadas [19.000, 20.000] de latitud y [-103.000,-100.000] de longitud, siendo este espacio donde se encuentra la mayor extensión forestal del estado.

Por otro lado, debido a que en este apartado se analizará el cambio de uso de suelo de suelo agrícola hacia bosque, es por esto que se identificará geográficamente cómo se distribuyen los diferentes tipos de agricultura en Michoacán. El mapa presentado en la figura 5.21 fue creado a través de la capa de información de cambio de uso de suelo

serie VII del INEGI y para mostrar los tipos de agricultura existentes se utilizó la siguiente categorización:

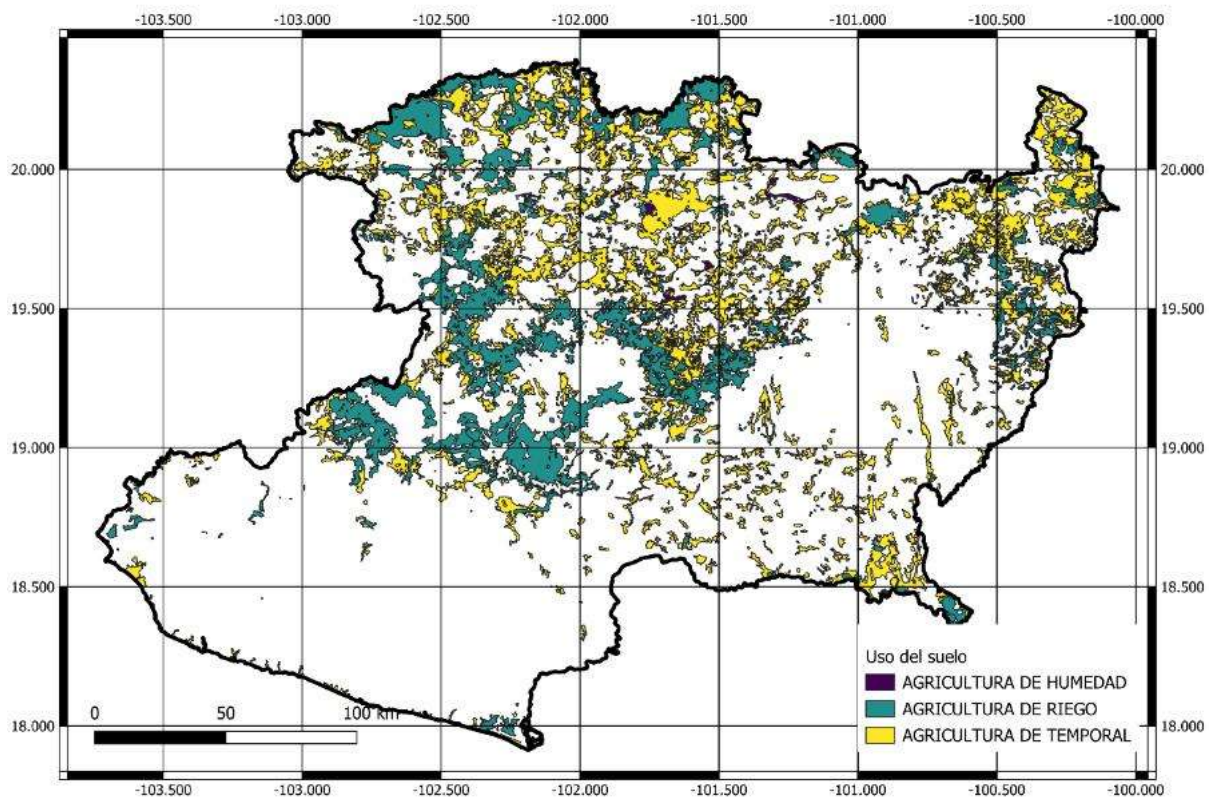
Agricultura de humedal (Anual)

Agricultura de riego (Anual, permanente, anual y permanente)

Agricultura de temporal (Anual, temporal, anual y permanente)

Figura 5.21:

Distribución espacial de la agricultura en Michoacán 2021



Elaboración propia con datos de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII de INEGI (CONABIO 2023).

En la figura 5.21 se puede observar que la superficie agrícola, tanto de humedal, riego y temporal, se extiende por la mayor parte del estado de Michoacán. El lugar donde

parece ser menor su presencia es en la costa del océano pacífico. Cabe resaltar que al igual que en la figura 5.15, la figura 5.21 muestra que la superficie agrícola de riego tiene una presencia importante en la parte central del estado.

Para entender el proceso de cambio de uso de suelo que se dio en el estado de Michoacán. Primero se tienen que mostrar la extensión de los principales usos de suelo que existían en un periodo anterior al que se busca analizar. En la tabla 5.28 se observan los principales tipos de suelo que existían en Michoacán en el año de 2001. Esta información se obtuvo a través de la calculadora de campos del programa Qgis, aplicada a la capa de uso de suelo de la serie II del INEGI. Si bien anteriormente se explicó cómo se componen las categorías de agricultura de humedad, riego, temporal, vegetación secundaria arbórea de bosque, vegetación secundaria arbustiva de bosque y zona boscosa; a continuación, se muestra cómo se componen las categorías utilizadas en la tabla 5.27.

Selva (Selva baja caducifolia, selva baja espinosa caducifolia y selva mediana caducifolia)

Pastizal (Pastizal cultivado permanente, pastizal halófilo y pastizal natural)

Asentamientos urbanos (Asentamientos urbanos)

Tomando en cuenta las categorías anteriormente mencionadas y utilizando herramientas disponibles en el programa QGIS, se calculó el porcentaje de ocupación de cada tipo de suelo en el estado de Michoacán (tabla 5.27). Lo anterior se realizó suponiendo que la superficie total del estado es de 5,858,666 hectáreas.

Tabla 5.27:

Principales usos del suelo en Michoacán en 2001

Uso de suelo	Hectáreas	Área ocupada de Michoacán
AGRICULTURA DE HUMEDAD	9,442	0%
AGRICULTURA DE RIEGO	460,777	8%
AGRICULTURA DE TEMPORAL	1,007,833	17%
ASENTAMIENTOS HUMANOS	50,141	1%

PASTIZAL	576,336	10%
SELVA	510,664	9%
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE	184,118	3%
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE	460,380	8%
ZONA BOSCOSA	1,005,363	17%

Elaboración propia con datos de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie II de INEGI (CONABIO 2023).

La tabla 5.27 muestra, que tanto la agricultura de temporal como la zona boscosa son los tipos de suelo que más superficie del estado de Michoacán ocuparon en ese año. La agricultura de temporal contó para el 2001 con 1,007,833 hectáreas, mientras que la extensión de la zona boscosa fue 1,005,363 hectáreas para el mismo año. Entre estas dos categorías llegaron a ocupar cerca del 34% de toda la superficie del estado de Michoacán.

Para contrastar se realizó el mismo cálculo de la tabla 5.27, pero utilizando la capa de uso de suelo serie VII del INEGI, la cual corresponde al año 2021. Para este análisis se utilizaron las mismas categorías en cuanto a usos del suelo.

Tabla 5.28:

Principales usos del suelo en Michoacán en 2021

Uso de suelo	Hectárea	Área ocupada de Michoacán
AGRICULTURA DE HUMEDAD	11,842	0%
AGRICULTURA DE RIEGO	586,281	10%
AGRICULTURA DE TEMPORAL	821,086	14%
ASENTAMIENTOS HUMANOS	104,064	2%
PASTIZAL	561,057	10%
SELVA	389,899	7%
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE	265,626	5%
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE	532,281	9%
ZONA BOSCOSA	858,203	15%

Elaboración propia con datos de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII de INEGI (CONABIO 2023).

La tabla 5.28 muestra, que de la misma forma que en 2001, para el 2021 los usos de suelo que presentaron una mayor extensión fueron, la agricultura de temporal y la zona boscosa, teniendo una superficie de 821,086 hectáreas y de 858,203 hectáreas respectivamente. En cuanto a su proporción con respecto a la superficie del estado de Michoacán, la agricultura de temporal pasó de ocupar 17% en 2001 a solo el 14% en 2021; mientras que la zona boscosa pasó de ocupar 17% en 2001 a solo 15% en 2021. Esto indica que estos dos tipos de suelo presentaron una reducción en la superficie que ocupaban.

Cabe señalar que, si bien siguen siendo los tipos de suelo predominantes en Michoacán, han presentado disminuciones en su superficie. Debido a esto se elaboró la tabla 5.30, la cual muestra la variación en términos absolutos y relativos entre los tipos de uso de suelo durante el periodo de 2001 a 2021.

Tabla 5.29:

Diferencias del uso de suelo entre 2001-2021

Uso de suelo	Variación absoluta	Variación relativa
AGRICULTURA DE HUMEDAD	2,400	25%
AGRICULTURA DE RIEGO	125,504	27%
AGRICULTURA DE TEMPORAL	-186,747	-19%
ASENTAMIENTOS HUMANOS	53,923	108%
PASTIZAL	-15,280	-3%
SELVA	-120,765	-24%
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE	81,508	44%
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE	71,901	16%
ZONA BOScosa	-147,160	-15%

Elaboración propia con datos de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII de INEGI (CONABIO 2023).

La tabla 5.29 indica la variación de cada uno de los usos de suelo, a través del periodo 2001-2021. Dentro de los resultados destaca el crecimiento porcentual que tuvo la superficie ocupada por los asentamientos urbanos, la cual creció 108% durante este periodo de tiempo, convirtiéndose en el tipo de suelo que relativamente creció más. Por

otro lado, en términos absolutos el tipo de suelo que más creció fue la agricultura de riego, la cual presento un incremento de 125,504 hectáreas.

En cuanto a los tipos de suelo que presentaron una mayor disminución. La selva fue la que mayores reducciones presentó, perdiendo un 24% de superficie durante este periodo de tiempo. Mientras que la agricultura de temporal y la zona boscosa presentaron las mayores disminuciones en términos absolutos, prestando pérdidas de 186,747 y 147,160 hectáreas respectivamente durante el periodo anteriormente señalado.

Es importante mencionar que la pérdida de cobertura tanto boscosa como de selva, puede tener como consecuencia graves problemas para el funcionamiento de los ecosistemas presentes en el estado de Michoacán.

Considerando la pérdida de cobertura boscosa, resulta fundamental determinar en qué medida esta disminución se debe al crecimiento de la agricultura en el estado de Michoacán.

Para cuantificar la superficie de la zona boscosa que ha sido remplazada por la agricultura, se utilizó el método conocido como **matriz de cambio de uso de suelo**, el cual fue descrito en el capítulo 2 de esta investigación.

Lo primero que se hizo fue identificar los dos periodos a trabajar, los cuales para este caso fueron, el 2001 con la información de la capa de uso del suelo y vegetación serie de la serie II del INEGI y el 2021 con la información de la capa de uso del suelo y vegetación de la serie VII del INEGI.

Posteriormente, se identificaron los tipos de suelo a evaluar. Los cuales, para este caso, fueron los mencionados en las tablas 5.27, 5.28 y 5.29. Estos se abreviaron de la siguiente forma para construir la matriz de cambio de uso de suelo (tabla 5.30):

AGRICULTURA DE HUMEDAD (AH)

AGRICULTURA DE RIEGO (AR)

AGRICULTURA DE TEMPORAL (AT)

ASENTAMIENTOS HUMANOS (AHUM)

PASTIZAL (P)

SELVA (S)

VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE (VSAB)

VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE (VSARBUSB)

ZONA BOScosa (ZB)

Como se mencionó en el capítulo 2. Una vez teniendo estas categorías, se le asigna un valor a cada una de estas en ambos periodos de tiempo. Una vez obtenida esta información se construye la tabla 5.31, la cual es la matriz de cambio de uso de suelo, con la cual posteriormente se puede calcular el desplazamiento que ha provocado la agricultura sobre la zona boscosa. Es importante señalar, que el tamaño de esta matriz es de 9x9, debido a que se están evaluando todos los tipos de suelo anteriormente mencionados en ambos periodos.

Tabla 5.30:

Matriz de cambio de uso de suelo

			2021								
			AH	AR	AT	AHUM	P	S	VSAB	VSARBUSB	ZB
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
2001	AH	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	AR	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	AT	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	AHUM	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
	P	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
	S	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
	VSAB	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
	VSARBUSB	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
	ZB	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

Elaboración propia

En la tabla 5.30 muestra la asignación de los valores de cada uno de los tipos de suelo y las diferentes combinaciones que pueden existir entre estos. Cabe resaltar que se trata de una matriz identidad, donde el valor por donde pasa la línea color amarillo indicará que existe permanencia del tipo de suelo.

Como ya se mencionó anteriormente en el capítulo 2, la decena en el valor de la matriz indicará el tipo de suelo que se presentaba en Michoacán durante el año de 2001, mientras que la unidad representa el tipo de suelo en 2021. Por ejemplo, cuando el valor de un polígono sea igual a 92, significará que en el 2001 estaba ocupado por la zona boscosa, pero que para el año 2021 fue remplazado por la agricultura de riego.

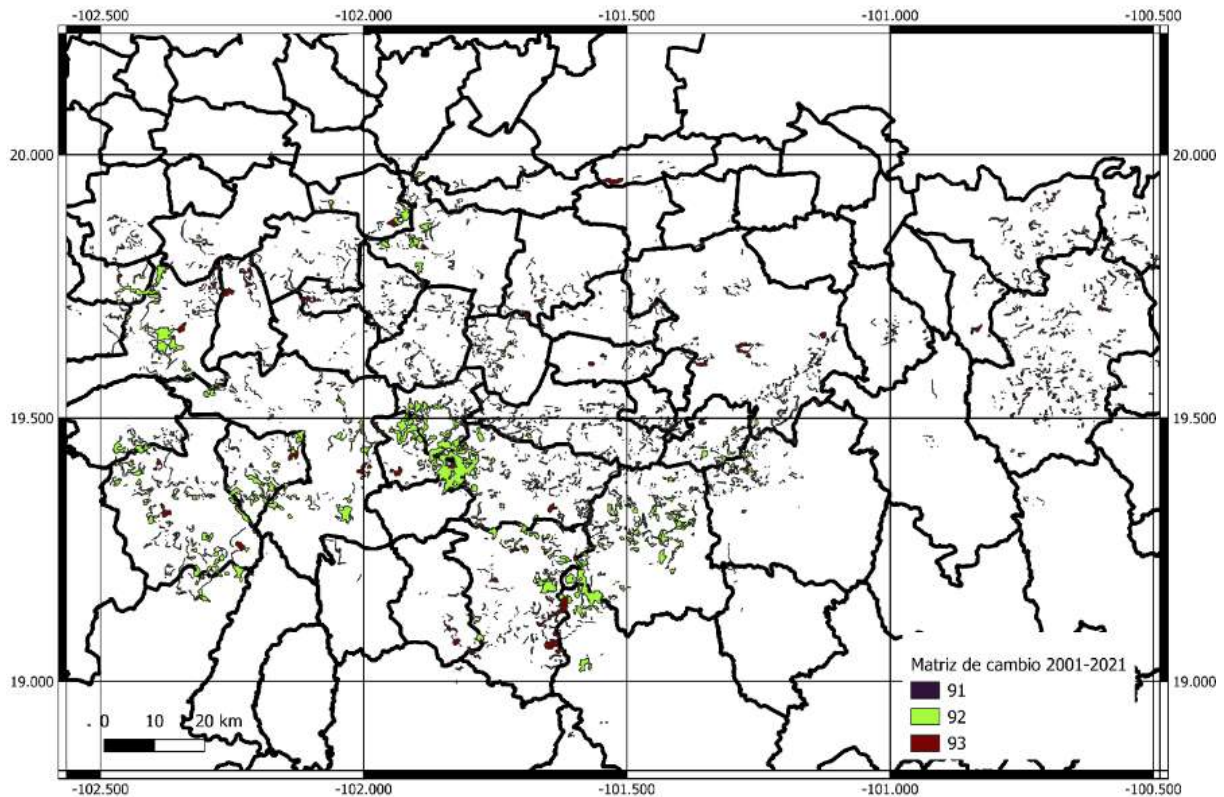
Con esta información y mediante el proceso descrito en el capítulo 2, se pudo obtener la capa de información geográfica que contiene los valores de la matriz de cambio de uso de suelo en cada uno de los polígonos presentes en las capas de cambio de uso de suelo de la serie II y VII del INEGI. Esto se realizó a través de los programas ArcMap y Qgis.

Si bien cada uno de los escenarios en la matriz son bastante interesantes, en esta investigación únicamente se expondrán los que corresponden al desplazamiento de la zona boscosa por parte de la agricultura.

Para elaborar el mapa de la figura 5.22 el cual muestra las áreas donde la agricultura ha desplazado a la zona boscosa durante el período 2001-2021, fue necesario buscar en la capa creada previamente a través de ArcMap, los valores correspondientes a 91, 92 y 93. Esto debido a que estos valores son los que muestran el cambio de la zona boscosa a agricultura de humedal, riego y temporal respectivamente. Una vez filtrados los valores en el programa Qgis, se obtuvo una representación gráfica de cada uno de los polígonos que sufrieron el cambio de uso de suelo de zona boscosa a agricultura en el estado de Michoacán (figura 5.22).

Figura 5.22:

Distribución espacial del cambio de uso de suelo boscoso por agrícola



Elaboración propia con datos de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII de INEGI (CONABIO 2023).

La figura 5.22 muestra el espacio geográfico donde ocurrió el mayor desplazamiento de zona boscosa por parte de la agricultura en el estado de Michoacán. Donde destacan municipios como los son Los Reyes, Salvador Escalante, Ziracuaretiro, Tingambato, entre otros.

Es importante destacar que, al menos de manera gráfica, la figura 5.22 muestra que la agricultura de riego, representada por el valor 92 e identificada en el mapa por medio del color verde, es la principal responsable del cambio de uso de suelo en la zona boscosa del estado de Michoacán.

Posterior a la elaboración del mapa, se procedió a calcular el número de polígonos y el total de la superficie boscosa que fue desplazada por las diversas modalidades de agricultura durante el periodo 2001-2021 en Michoacán. Para realizar este cálculo se utilizaron las herramientas disponibles en el programa ArcMap.

Tabla 5.31:

Hectáreas de bosque sustituidas por la agricultura en Michoacán en el periodo 2001-2021

Campo	Número de polígonos	Total (Ha)	Media	Desviación estándar
91	11	41	3.727273	4.956005
92	429	40,252	93.827506	362.728064
93	870	31,330	36.011494	74.083161
Total	1310	71,623		

Elaboración propia con datos de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII de INEGI (CONABIO 2023).

La tabla 5.31 muestra que en conjunto la agricultura de humedal (91), la agricultura de riego (92) y la agricultura de temporal (93) son responsables del desplazamiento de 71,623 hectáreas del tipo de suelo denominado como zonas boscosas.

Durante el análisis, se pudo determinar que la influencia de la agricultura de humedal sobre el desplazamiento de las zonas boscosa no es muy alta. Esto debido a que el programa detectó que solo en 11 polígonos ocurrió una sustitución de zonas boscosas a agricultura de humedal, la extensión total de este desplazamiento fue de 41 hectáreas, donde la media de la superficie de cada polígono fue de 3.7273 hectáreas.

Por otro lado, la agricultura de riego presentó el mayor desplazamiento dentro de la agricultura sobre las zonas boscosas. El programa detectó 429 polígonos con desplazamiento de zonas boscosas a agricultura de riego, los cuales representan un total de 40,252 hectáreas. Es importante señalar que, la superficie promedio de cada polígono fue de 93.8275 hectáreas.

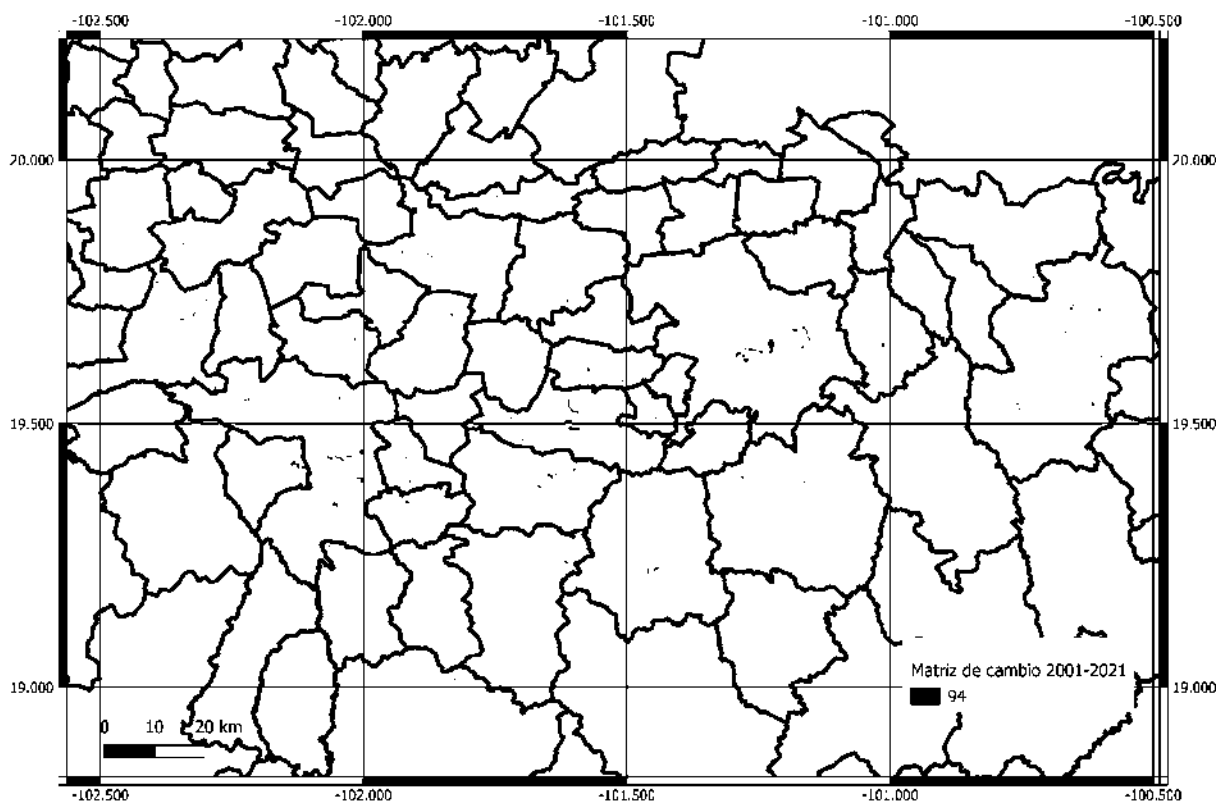
La agricultura de temporal también contribuyó significativamente al desplazamiento de zonas boscosas. Esta fue responsable del desplazamiento de 31,330

hectáreas de zonas boscosas, distribuidas en 870 polígonos. Estos polígonos tuvieron una extensión media de 36.0115 hectáreas.

Para obtener una perspectiva sobre la magnitud del desplazamiento de zonas boscosas causado por la agricultura, se empleó el mismo proceso utilizado en la figura 5.22 y en la tabla 5.31 para elaborar datos sobre el desplazamiento de zonas boscosas provocado por la expansión de los asentamientos humanos en el estado de Michoacán. El objetivo es contrastar ambos resultados.

Figura 5.23:

Distribución espacial del cambio de uso de suelo forestal por asentamientos humanos



Elaboración propia con datos de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII de INEGI (CONABIO 2023).

En la figura 5.23 los puntos negros representan todos los polígonos que presentaron desplazamiento de zonas boscosas por parte de los asentamientos humanos. Es claro que hay notablemente menos polígonos que los mostrados en la figura 5.22. Parece ser que el municipio con mayor cambio de uso de suelo de zona boscosa a asentamientos humanos es Morelia, esto posiblemente debido a que es la capital del estado de Michoacán y, por lo tanto, el municipio más poblado.

Tabla 5.32:

Hectáreas de bosque sustituidas por los asentamientos humanos en Michoacán en el periodo 2001-2021

Campo	Número de polígonos	Total (Ha)	Media	Desviación estándar
94	80	829	10.3625	22.086899
Total	80	829		

Elaboración propia con datos de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII de INEGI (CONABIO 2023).

La tabla 5.32 muestra que los asentamientos humanos son responsables del desplazamiento de 829 hectáreas de zonas boscosas, distribuidas en 80 polígonos, los cuales tuvieron un tamaño medio de 10.3625 hectáreas. Es importante señalar que la agricultura en el periodo 2001-2021 desplazó una superficie de zona boscosa 86.3969 veces mayor que la desplazada por los asentamientos humanos.

Tomando en cuenta todo lo anterior, se puede afirmar que el desplazamiento de la zona boscosa efectuado por la agricultura fue bastante importante. Esto es alarmante si se toma en cuenta la importancia de las zonas boscosas en los ecosistemas y en los ciclos hídricos. Se podría decir que la pérdida de zonas boscosas en Michoacán puede tener como consecuencia una disminución en las capacidades naturales que permiten el filtrado y la disponibilidad de agua.

Los resultados obtenidos en este apartado ofrecen una contribución importante a la sistematización previamente establecida en el capítulo 4 por medio de la figura 4.10.

El primer resultado indica que la distribución espacial del subsistema agrícola dentro del sistema hídrico de Michoacán está en parte influenciado por los altos volúmenes de agua concesionada para la agricultura

Por otro lado, la expansión del subsistema agrícola no solo supone un mayor consumo y un aumento de los flujos hídricos de salida, como ya se mencionó anteriormente. La expansión de este influye en gran medida en la reducción de la zona boscosa de Michoacán, lo que se traduce como una pérdida de la capacidad de recarga de agua del sistema hídrico. Por lo tanto, se puede afirmar que el sistema hídrico de Michoacán se contrae, tanto por el incremento de los flujos hídricos de salida como también por la disminución en su capacidad recarga de agua.

Conclusiones

La contribución de esta investigación radica en la evidencia de que la agricultura actualmente existente en Michoacán, enfocada principalmente en cultivos frutales de exportación, ha provocado un incremento en el volumen de agua concesionado para la agricultura. Además, ha sido responsable del desplazamiento de parte de la zona boscosa, la cual es fundamental para la recarga de agua del sistema hídrico del estado. En otras palabras, esta situación incrementa la falta de disponibilidad de agua, tanto por el aumento en el consumo como por la afectación de las condiciones naturales necesarias para una óptima recarga de agua.

Una de las principales limitaciones de esta investigación es la falta de datos sobre los cultivos exportados desde Michoacán hacia otros estados de México. La disponibilidad de estos datos habría permitido identificar con mayor precisión los tipos de cultivos que generan un mayor flujo hídrico de salida en el sistema hídrico de Michoacán. Con la información disponible, solo se pudo confirmar que los cultivos frutales representan el mayor volumen de productos agrícolas destinados al mercado exterior y, por ende, representan un flujo hídrico de salida.

Otro factor para tener en cuenta son las plantaciones ilegales dentro del estado de Michoacán. Todas las estimaciones y los datos presentados en la investigación provienen de bases de datos oficiales del Gobierno de México, las cuales fueron de gran utilidad. Sin embargo, es importante reconocer que existen plantaciones ilegales distribuidas por el estado que pueden no estar contempladas en los datos oficiales. Cabe señalar que se reconoce la dificultad de obtener información precisa sobre estas plantaciones debido a la naturaleza de las mismas.

En cuanto al consumo de agua, se observó que el incremento en la superficie agrícola de riego y la variación en los tipos de cultivos producidos han provocado aumentos en los volúmenes de agua consumidos por la agricultura en el estado de Michoacán. Se identificó que el aguacate, uno de los cultivos más relevantes para el estado, consume una parte significativa del agua asignada para la agricultura. A través de una regresión se pudo estimar que si la superficie destinada al cultivo de aguacate de

riego se mantiene en 64,807.65 hectáreas, como sucedió en 2020, este cultivo consumiría aproximadamente 75,071,561,569 litros de agua. Esto equivale aproximadamente al 15.4445% del total de agua destinada al uso agrícola en el estado de Michoacán.

Es importante señalar que, al menos en 2021, los cultivos frutales fueron los principales responsables del mayor flujo hídrico de salida en el subsistema. Esto se debe a que representan la mayor cantidad de cultivos exportados. Como resultado, se observa una reducción en la cantidad de agua en el sistema hídrico de Michoacán, ya que el agua contenida en esos cultivos no regresa a las cuencas o acuíferos del estado.

Por otro lado, se pudo observar que la distribución espacial de la agricultura en Michoacán está en parte influenciada por el volumen de agua que se concesiona para la agricultura. Se identificó a través del índice de Moran que existe auto correlación espacial entre el volumen de extracción de agua agrícola y la superficie agrícola en los municipios de Peribán, Buena Vista, Apatzingán, Morelia, entre otros. Cabe resaltar que, este análisis se hizo por medio de las herramientas disponibles en el programa GeoDa.

Esta investigación también reveló que la expansión agrícola es la principal responsable del desplazamiento de las zonas boscosas en el estado de Michoacán. La reducción de la zona boscosa en Michoacán tiene como consecuencia una disminución en la recarga de agua de la región y, en consecuencia, una reducción en el agua disponible en el sistema hídrico del estado.

La región de Michoacán más afectada por este desplazamiento se encuentra en los municipios de Los Reyes, Salvador Escalante, Ziracuaretiro, Tingambato, entre otros. Cuantitativamente, la agricultura fue responsable de desplazar 71,623 hectáreas de zonas boscosas entre 2001 y 2021. De este total, la agricultura de humedal contribuyó con 41 hectáreas, la agricultura de riego con 40,252 hectáreas y la agricultura de temporal con 31,330 hectáreas. Este análisis de cambio de uso de suelo se realizó mediante el método de la matriz de cambio de uso de suelo, utilizando las herramientas disponibles en los programas ArcMap y Qgis.

Para llegar a estas conclusiones, fue necesario desarrollar una sistematización que facilitara la comprensión de la relación entre la agricultura y la falta de disponibilidad de agua en Michoacán. Por lo tanto, lo primero que se hizo fue construir una sistematización genérica que incluyera un sistema hídrico abierto y un subsistema agrícola, los cuales mantienen intercambios de flujos hídricos.

Para esto fue necesario conocer cómo es posible abordar la realidad compleja desde diversas perspectivas y comprender los conceptos básicos de las sistematizaciones. Se tomaron como referencia otras sistematizaciones, como las realizadas por la economía ambiental, la economía circular y la economía ecológica, para luego analizar cómo construir el subsistema agrícola y comprender el comportamiento de los flujos hídricos a través de indicadores como el agua virtual y la huella hídrica.

A pesar de haber creado la sistematización, en ese momento no se comprendía qué determinaba el comportamiento del subsistema agrícola, el cual define el volumen de consumo y salida de flujos hídricos del mismo. Por esta razón, se recurrió a la teoría de la dependencia, con la cual se pudo comprender que las características de la agricultura están determinadas por la forma en que el territorio se integra a la dinámica del capitalismo global.

Tomando en cuenta lo anterior, se analizaron los diferentes modelos de integración internacional implementados en México, especialmente el modelo neoliberal el cual coincidió con la entrada del país en la dinámica de la globalización. Cabe resaltar que durante la etapa de la globalización se suscitó la crisis financiera de 2008, la cual agravó la crisis agrícola ya existente.

Este suceso tuvo como consecuencia una deslocalización de capitales, lo que ocasionó una reestructuración de la agricultura a escala global. Los países dominantes mantuvieron su seguridad alimentaria protegiendo la producción de granos básicos a través de políticas proteccionistas. Por otro lado, en los países dependientes presentaron un desplazamiento de la producción familiar por parte de los modelos agroindustriales, los cuales están centrados en cultivos no esenciales destinados principalmente a la exportación, por ejemplo, las frutas.

Para países dependientes como México, la producción agrícola centrada en los agronegocios ha generado algunos aspectos económicos positivos, pero al mismo tiempo ha dado lugar a efectos multidimensionales negativos. De estos últimos el que destaca para esta investigación es la alteración de los ciclos del agua. Por lo tanto, se procedió a exponer de manera general las características principales de la agricultura y la situación actual con respecto a la falta de disponibilidad de agua tanto en las cuencas hidrológicas como en los acuíferos del país.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presentaron las principales características de la falta de disponibilidad de agua y la agricultura en el estado de Michoacán, lo que permitió definir la sistematización empleada en esta investigación.

Se estableció que el sistema hídrico estaba compuesto por las cuencas y los acuíferos que se encuentran dentro del estado de Michoacán, mientras que el subsistema agrícola estaba conformado por la agricultura del estado. Cabe resaltar que esta última actualmente presenta una dominancia por parte de los cultivos frutales en cuanto al valor de producción, volumen de producción y exportación. Es importante destacar que estas características probablemente fueron determinadas por las relaciones de dominación presentes en el capitalismo global, como se mencionó anteriormente.

Una vez definida la sistematización empleada en la investigación, era necesario comprender cómo la agricultura de Michoacán influye sobre la falta de disponibilidad de agua. Esto teniendo en cuenta que la falta de disponibilidad de agua se da cuando el consumo de agua dentro de un cuerpo de agua supera su recarga.

Para analizar el consumo del subsistema agrícola en Michoacán, se emplearon dos enfoques principales. En primer lugar, se llevó a cabo un análisis multicriterio utilizando el método del algoritmo de Saaty, lo que permitió seleccionar al aguacate como el cultivo más relevante para la investigación. En segundo lugar, se realizó una estimación a través del método de regresión para cuantificar la influencia de la superficie agrícola de aguacate de riego sobre el volumen de agua destinado a la agricultura.

Por otra parte, se analizó la reducción en la recarga de agua, a través de la degradación de las condiciones naturales que permiten la recarga de agua. Para analizar

esto se emplearon dos enfoques principales. En primer lugar, se llevó a cabo un análisis de autocorrelación espacial entre el volumen de agua destinado a la agricultura y la superficie agrícola del estado a través del método del índice de Moran, lo que permitió afirmar y cartografiar la presencia de autocorrelación espacial en el territorio. En segundo lugar, se llevó a cabo un análisis de cambio de uso de suelo mediante el método de la matriz de cambio de uso de suelo, lo que permitió cartografiar y cuantificar el desplazamiento de la zona boscosa debido a la expansión de la superficie agrícola del estado de Michoacán.

A través de todo este proceso fue como se llegó a los resultados anteriormente descritos en esta investigación.

Referencias

- Arasa, C. y Andreu, J. M. (1999) Desarrollo Económico. Teoría y política. Dykinson, Madrid. Cap. 3, pp. 49 – 62
- Bartra, A. (2014). Campesinos del tercer milenio: aproximaciones a una quimera. Revista ALASRU Análisis Latinoamericano del Medio Rural. Análisis Latinoamericano del Medio Rural, 17-44.
- Basurto Hernández, S. y Escalante Semerena, R. (2012). Impacto de la crisis en el sector agropecuario en México. Economía UNAM, 9(25), 51-73. Recuperado en 20 de enero de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-952X2012000100004&lng=es&tlng=es.
- Castellano Estornell, G. M., y Moreno Gálvez, Á. (2019). Ley de conservación de la masa: de la alquimia a la química moderna. Antoine Laurent Lavoisier.
- Cathalifaud, M. A., y Osorio, F. (1998). Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. Cinta de moebio, (3).
- Celemín, Juan Pablo. (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial: Importancia, estructura y aplicación. Revista Universitaria de Geografía, 18(1), 11-31. Recuperado en 25 de enero de 2024, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652009000100002&lng=es&tlng=es.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (30 de 01 de 2024). Gobierno de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/conafor/es/articulos/los-bosques-y-el-ciclo-del-agua#:~:text=Los%20bosques%20son%20fundamentales%20en,de%20tierra%2C%20inundaciones%20y%20sequ%C3%ADas.&text=Los%20bosques%20juegan%20un%20papel%20crucial%20en%20el%20ciclo%20del%20agua>.
- Common, M., y Stagl, S. (2008). Introducción a la economía ecológica. España: Reverté, S.A.
- CONAGUA. (27 de 01 de 2022). CONAGUA. Obtenido de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en->

el,mundo#:~:text=El%20principal%20uso%20del%20recurso,70%25%20de%20la%20e
xtracci%C3%B3n%20total.&text=En%20la%20producci%C3%B3n%20de%20combustib
les,en%20el%20procesamiento%20y%20refinaci%C3%B3n.

Costanza, R., Cumberland, J., Daly, H., Goodland, R., y Norgaard, R. (1999). Una introducción a la economía ecológica. México: Compañía editorial continental, S.A. de C.V.

Cuervo, L.M. (2006). Globalización y territorio. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES). Santiago de Chile: CEPAL.

Dussel, E. (2014). 16 Tesis de Economía Política. México: Siglo xxi editores, s.a. de c.v.

Fernández Grecco, M. A. (2013). Huella hídrica, agua virtual: Conceptos clave para pensar el recurso hídrico. *Questión*, 1(40), 1-8. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/32861>

Gallicchio, E. (2003) El desarrollo económico local. Estrategia económica y de construcción de capital social. CLAEH: Montevideo.

Gil, C. G. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. Papeles de relaciones ecosociales y cambio global, 140(1), 107-118.
https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/revista_papeles/140/ODS-revision-critica-C.Gomez.pdf

Gliessman, S. R. (2002). Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Gómez Sántiz, Faustino (2022). Correlación espacial. Análisis espacial. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Guillén, A. (2008). Modelos de desarrollo y estrategias alternativas en América Latina. América Latina y desarrollo económico. Madrid: Editorial Akal.

Guitián, et al. (1999) La cultura de la estabilidad y el consenso de Washington. Barcelona: Caja de Ahorros y Pensiones de Barcelona, pp. 67 – 117.

Gujarati, D. M., y Porter, D. C. (2010). *Econometría*. México: McGRAW-HILL/INTERNAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

- Gutiérrez de la Garza, E., y González Gaudiano, É. (2010). De las teorías del Desarrollo al Desarrollo Sustentable. Nuevo León, México : Siglo xxi editores, s.a. de c.v.
- Herrera Torres, Hugo. Amador. (2022). Algoritmo de Saaty. Políticas públicas para la sustentabilidad. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Hogeboom, R. J. (2020). The water footprint concept and water's grand environmental challenges. *One Earth*, 2(3), 218-222.
- Ignacio Martínez, M. L., Vazquez Flores, S. L., Briseño Sánchez, A., y Atilano León, A. (2021). Sistemas Termodinámicos. TEPEXI Boletín Científico De La Escuela Superior Tepeji Del Río, 8(16), 34-37. <https://doi.org/10.29057/estr.v8i16.7098>
- INIFAP. (Diciembre de 2009). Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 5. Recuperado el 11 de Marzo de 2019, de http://www.inifapcirne.gob.mx/Revistas/Archivos/libro_aguacate.pdf
- Kirchherr, J., Reike, D., y Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, 127, 221-232.
- Korhonen, J., Honkasalo, A., y Seppälä, J. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics*, 143, 37-46.
- Maggio, M. L. V. (2017). Revisión del modelo de sustitución de importaciones: vigencia y algunas reconsideraciones. *Economía Informa*, 404, 4-17.
- Marini, R. M., y Sader, E. (1977). *Dialéctica de la dependencia* (Vol. 22). México DF: Ediciones Era.
- Martínez Alier, J., y Roca Jusmet, J. (2006). *Economía ecológica y política ambiental*. México: FCE.
- Martínez Rangel, Rubí, y Reyes Garmendía, Ernesto Soto. (2012). El Consenso de Washington: la instauración de las políticas neoliberales en América Latina. *Política y cultura*, (37), 35-64. Recuperado en 07 de febrero de 2024, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-77422012000100003&lng=es&tlng=es.

Martínez, A. N., y Porcelli, A. M. (2018). Estudio sobre la economía circular como una alternativa sustentable frente al ocaso de la economía tradicional (primera parte). *Lex: Revista de la Facultad de Derecho y Ciencia Política de la Universidad Alas Peruanas*, 16(22), 301-334.

Martínez, R. (2004). Fundamentos culturales, sociales y económicos de la agroecología. *Revista de Ciencias Sociales (Cr)*, 1(103-104), 93-102.

Milanese, Juan. (2019). Patrones espaciales de comportamiento electoral. Análisis de la distribución geográfica de los votos de Iván Duque y Gustavo Petro. https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Cuadrantes-de-grafico-de-I-de-Moran_fig2_332550227

Morales Hernández, J. (2014). La agroecología en la construcción de alternativas hacia la sustentabilidad rural. México: Siglo xxi editores, S.A. de C.V.

Navarrete, C. L. (2017). El enfoque agroecológico: una alternativa al modelo agroindustrial (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencia Política y Relaciones Internacionales).

North, D. C. (1993) *Instituciones, cambio institucional y desempeño económico*. México, FCE, Cap. I

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (30 de 01 de 2024). Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS). Obtenido de <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-and-water/in-more-depth/es/>

Paoli Bolio, Francisco José. (2019). Multi, inter y transdisciplinariedad. *Problema anuario de filosofía y teoría del derecho*, (13), 347-357. Epub 19 de mayo de 2020. <https://doi.org/10.22201/ijj.24487937e.2019.13>

Piñeiro, D. y Cardellaic. J (2014). Producción familiar y agronegocios: dos modelos en conflicto. *Revista ALASRU Análisis Latinoamericano del Medio Rural*. Análisis Latinoamericano del Medio Rural, pp. 187-206.

- Rendón Rojas, M. Á. (2011). Acercamiento inicial: ciencia, epistemología, interdisciplina y transdisciplina. En M. Á. Rendón Rojas, S. Cruz Domínguez, E. Hernández Carmona, M. Ramírez Aceves y A. Sánchez Espinoza, *Bibliotecología, archivística, documentación: intradisciplina, interdisciplina o transdisciplinariedad* (pp. 1-11). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- REPDA. (27 de 01 de 2023). Registro Público de Derechos de Agua. Obtenido de <https://app.conagua.gob.mx/ConsultaRepda.aspx>
- Rey, M. S. G. (2010). La escasez de Agua en el mundo y la importancia del Acuífero Guaraní para Sudamérica: Relación abundancia-escasez. Argentina. CAEI.
- Riera, P., García, D., Kristöm, B., & Brännlund, R. (2016). *Manual de Economía Ambiental y de los Recursos Naturales*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Rodríguez, O. (2006) El estructuralismo latinoamericano. México, Siglo XXI – CEPAL, pp. 343 – 408
- Rodríguez, S. A., Delgado, M. I., Area, M. C., Lupi, A. M., y Escobar, P. (2021). Los bosques como reguladores del ciclo del agua para disminuir los riesgos de inundaciones. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/130930>
- Rubio, B. (2014). ¿Resurge la renta de la tierra? La revalorización de los bienes agropecuarios y su impacto en América Latina. *Revista ALASRU Análisis Latinoamericano del Medio Rural*, pp. 127-143.
- Sabaté, S. (2009). Los bosques y la evapotranspiración. Universidad de Barcelona y Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF). https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40512003/capitol9_lowress-libre.pdf?1448908586=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCapitol9_lowress.pdf&Expires=1706896226&Signature=HG7kdzd-Eu2ue3ifrORhnZ54TBOMnAdIjrLP3rQon7~FF5YB0J00MeajhHnzUvnMIT4-m7EDKHf6e5MPOyvFAMVTtz1e6rhXbL~W0BU2yALBG~Rho~nZfmLhKo4Z92LufLiY62NpQh8s3jtWcx~1SpE8DT-CyxMjK0hwb~7gpowgNCCx~8RLlc8nUxzU~93OpngxfkfYZBcbdHpLpNk2vHp~6X-

ejmZOP-FFOGOs2-

N~bR9s5m29L7H5B5BILznmc2SIXwumyoRci5sDJDpjtXT32HNWKZJk6jOpJCCyYy3ojP
JCvcTc6TXGYPoswuCv5opxeS9BnnR23oNJ0tyzQ__&Key-Pair-
Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Seguí Amórtegui, L. A., García Vega, D., y Guerrero García Rojas, H. R. (2016). Huella hídrica: análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos. Ciencia Nicolaíta, (69).

SIAP. (24 de 01 de 2022). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/627936/Balanza_Comercial_Agropecuaria_y_Agroindustrial_ENERO_2021.pdf

SIAP. (25 de 01 de 2022) a. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021

SIAP. (27 de 01 de 2022) b. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap>

SINA. (01 de 02 de 2022) a. Sistema Nacional de Información del Agua. Obtenido de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&ver=mapa&o=0&n=nacional>

SINA. (02 de 02 de 2022) b. Sistema Nacional de Información del Agua. Obtenido de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=reporte&o=0&n=estata>

SINA. (30 de 01 de 2022). Sistema Nacional de Información del Agua. Obtenido de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas&ver=mapa&o=0&n=nacional>

Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. Gaceta Ecológica, (64), 9-18.

Torras, D. M. D. A. C. (2015). El agua: Características diferenciales y su relación con los ecosistemas. TRIBUNA PLURAL, 25.

UNAM. (11 de 17 de 2023). B@UNAM. Obtenido de https://uapas1.bunam.unam.mx/ciencias/ciclo_del_agua/

UNAM. (13 de 01 de 2022). Gaceta UNAM. Obtenido de <https://www.gaceta.unam.mx/crisis-agua-industria/>

Vázquez, A. (2007). Desarrollo Endógeno. Teorías y políticas de desarrollo territorial. (A. E. España, Ed.) Investigaciones Regionales (11), 183-210.

Velázquez, E. (2010). Agua virtual, huella hídrica y el binomio agua-energía: repensando los conceptos. Sevilla. Tomado de: http://archivo.ecodes.org/pages/especial/agua2009/e_velazquez.pdf

Vergopoulos, K. (2001). El ciclo de la mundialización. Estudios latinoamericanos, 73-87.

Vergopoulos, K. (2014). La crisis alimentaria y financiera mundial. Revista ALASRU Análisis Latinoamericano del Medio Rural. pp. 45-62.

NOMBRE DEL TRABAJO

EL CAMBIO EN LA AGRICULTURA Y SU INFLUENCIA SOBRE LA FALTA DE DISPONIBILIDAD DE AGUA EN MICHOACÁN

AUTOR

Carlos Geovanni Castillo Rico

RECuento DE PALABRAS

53904 Words

RECuento DE CARACTERES

289834 Characters

RECuento DE PÁGINAS

215 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.3MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 10, 2024 2:48 PM GMT-6

FECHA DEL INFORME

Jul 10, 2024 2:51 PM GMT-6

● **18% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 17% Base de datos de Internet
- 7% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Maestría en Desarrollo y Sustentabilidad	
Título del trabajo	EL CAMBIO EN LA AGRICULTURA Y SU INFLUENCIA SOBRE LA FALTA DE DISPONIBILIDAD DE AGUA EN MICHOACÁN	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Carlos Giovanni Castillo Rico	0848602f@umich.mx
Director	Carlos Federico José Cabrera Tapia	carlos.cabrera@umich.mx
Codirector		
Coordinador del programa	René Colín Martínez	rene.colin@umich.mx

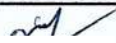
Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	NO	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	NO	
Traducción a otra lengua	NO	
Revisión y corrección de estilo	NO	
Análisis de datos	NO	
Búsqueda y organización de información	NO	
Formateo de las referencias bibliográficas	NO	
Generación de contenido multimedia	NO	
Otro		

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Carlos Geovanni Castillo Rico 
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán  10 de julio de 2024