

Universidad Autónoma de Sinaloa

Facultad de Ciencias Económicas y Sociales

Maestría en Ciencias Económicas y Sociales



Análisis de la gestión y uso del agua en el cultivo de
maíz en distritos de riego de Sinaloa

Tesis

Que como requisito para obtener el grado de Maestro
en Ciencias Económicas y Sociales

Presenta: Francisco Roberto Estrada Valdez

Director de tesis: Dr. Irvin Mikhail Soto Zazueta

Culiacán, Sinaloa. Noviembre del 2024.



Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

UAS-Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial
Compartir Igual, 4.0 Internacional



Agradecimientos

Mi total agradecimiento a mi alma mater, la Universidad Autónoma de Sinaloa, por abrirme las puertas del posgrado de la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales para estudiar el programa de Maestría en Ciencias Económicas y Sociales.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), por su financiamiento otorgado y respaldo científico en los dos años de formación de la maestría en Ciencias Económicas y Sociales con número de CVU 768718.

Agradezco a mi director de tesis el Dr. Irvin Mikhail Soto Zazueta y mis lectores el Dr. Jorge Rafael Figueroa Elenes y el Dr. Gerardo López Cervantes, por su guía y valiosas enseñanzas para la consolidación de esta tesis. Sus valiosas opiniones, críticas, sugerencias y correcciones, han contribuido positivamente para que la problemática identificada fuera fundamentada desde la ciencia y contribuya a su mejora.

Dedicatoria

A mi esposa e hijos, por su apoyo e inspiración para continuar en cada etapa de mi vida.

Índice General

Introducción	1
Capítulo 1. Gestión y aprovechamiento del agua para uso agrícola en Sinaloa.....	12
1.1 La importancia del agua para uso agrícola	12
1.2 La relevancia de una gestión eficiente del agua en la agricultura	13
1.3 Antecedentes del uso y gestión del agua en México.....	16
1.4 Aprovechamiento del agua para uso agrícola en Sinaloa	18
Capítulo 2. Teorías y paradigmas en el estudio de la gestión del agua.....	22
2.1 El concepto de gestión del agua y su aplicación	22
2.1.1 Uso del agua	27
2.2 Fundamentos teóricos sobre la gestión del agua	29
2.2.1 La complejidad de los problemas ambientales y la economía ambiental en el estudio de la problemática del agua.....	29
2.2.2 La teoría general de sistemas y el principio de Sinergia en el estudio de la gestión del agua	36
2.3 Paradigmas de la gestión del agua en la modernidad.....	43
2.4 Antecedentes en el estudio de la gestión y uso del agua	49
Capítulo 3. Consideraciones operativas de un Distrito de Riego	57
3.1 Distrito y Modulo de Riego	57
3.2 Operación de Distritos de Riego: Distribución y manejo del agua	59
3.2.1 Pérdidas de agua en el riego.....	60
3.3 Infraestructura Hidroagrícola en México y Sinaloa.....	61
3.4 Caracterización del área de estudio	62
Capítulo 4. Consideraciones Metodológicas de la Investigación.....	64
4.1 Econometría y Modelo Econométrico.....	64
4.2 Modelo de regresión lineal y Teorema de Gauss Markov	67
4.3 Modelo de datos panel.....	69
4.3.1 Modelo de regresión de datos panel de coeficientes constantes	70
4.3.2 Modelo de regresión de datos panel de efectos fijos	70
4.3.3 Modelo de regresión de datos panel de efectos aleatorios	72
4.4 Aplicación del Modelo Econométrico.....	73
4.4.1 Recolección de la información y descripción de variables.....	73
4.4.2 Población y muestra de análisis.....	77
4.4.3 Esquema metodológico	80

4.5 Aplicación del Modelo Econométrico de Datos Panel	81
4.5.1 Especificación del modelo.....	81
4.5.2 Estimación de los parámetros del modelo.....	82
4.5.3 Evaluación de bondad del modelo.....	89
4.5.4 Evaluación de la capacidad predictiva del modelo	92
4.5.5 Predicción de la variable de interés.....	93
Capítulo 5. Resultados y Discusiones del Modelo Econométrico de Datos Panel.	96
Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones	111
Referencias Bibliográficas.....	116

Índice de Figuras

Figura 1. Planeación del riego en un Distrito de Riego.	59
Figura 2. Municipios con mayor superficie sembrada en Sinaloa.	63
Figura 3. Etapas del modelo econométrico.	66
Figura 4. Volumen de Agua Distribuido en Sinaloa por Distrito de Riego	75
Figura 5. Producción de Maíz en Sinaloa por Distrito de Riego	76
Figura 6. Superficie Sembrada de Maíz en Sinaloa por Distrito de Riego.....	76
Figura 7. Superficie Sembrada de Maíz en Sinaloa, 1999-2024.	77
Figura 8. Distribución y cobertura de los Distritos de Riego de Sinaloa.	78
Figura 9. Etapas del modelo econométrico.	80
Figura 10. Datos en Eviews para el análisis econométrico	82
Figura 11. Producción de maíz.....	85
Figura 12. Volumen de Agua Distribuido.....	85
Figura 13. Sección cruzada combinada de producción de maíz.	86
Figura 14. Sección cruzada combinada Volumen de agua distribuido.	86
Figura 15. Correlación de variables del modelo econométrico para cada DR.....	88
Figura 16. Estimación del modelo econométrico de datos panel de efectos fijos..	89
Figura 17. Prueba de normalidad de los residuos.	91
Figura 18. Prueba de heterocedasticidad.....	91
Figura 19. Efectos fijos de sección cruzada por DR.....	93
Figura 20. Prueba de redundancia de los efectos fijos de sección cruzada.....	94

Índice de Tablas

Tabla 1. Características de los Distritos de Riego.....	79
Tabla 2. Muestra de información de la base de datos oficial para cada Distrito de Riego.....	83
Tabla 3. Resultados del modelo econométrico y cruce con información de la base de datos para el DR Culiacán Humaya.	96
Tabla 4. Resultados del modelo econométrico y cruce con información de la base de datos para el DR Rio Fuerte.....	97
Tabla 5. Análisis de resultados por ciclos en DR Culiacán Humaya.	100
Tabla 6. Análisis de resultados por ciclos en DR Culiacán Humaya.	101
Tabla 7. Análisis de resultados por ciclos en DR Culiacán Humaya	102
Tabla 8. Análisis de resultados por ciclos en DR Rio Fuerte.....	103
Tabla 9. Análisis de resultados por ciclos en DR Rio Fuerte.....	104
Tabla 10. Análisis de resultados por ciclos en DR Rio Fuerte.....	105
Tabla 11. Análisis de resultados por ciclos en DR Guasave.	106
Tabla 12. Análisis de resultados por ciclos en DR Valle del Carrizo.	107

Introducción

La incesante crisis hídrica que vivimos es consecuencia del cambio climático, pero también de una ineficiente gestión de los recursos hídricos (Figuroa, 2024). Afirmar que la escases de agua afecta al desarrollo de las actividades productivas es correcto, sin embargo, también es importante señalar que lo que ha provocado una disminución del agua tiene que ver con la forma en que se ha venido produciendo y consumiendo, un control desmedido y una mala gestión de los recursos en todas sus fases. En consecuencia, la demanda del agua, en todo el mundo y Sinaloa, se encuentra presionada por el incremento poblacional, el crecimiento de la infraestructura urbana y la complejidad que en los últimos años han adquirido las actividades productivas. En el caso de la oferta del recurso hídrico, enfrenta factores que inhiben su desarrollo, que están ligados fuertemente al cambio climático, que ha generado un incremento en los niveles de temperatura y que ha alterado el ciclo de lluvias afectando las fuentes de almacenamiento y abastecimiento de las cuencas, base de actividades productivas como la agricultura.

Como resultado de su ubicación geográfica, México es vulnerable ante la ocurrencia de distintos fenómenos meteorológicos extremos, como huracanes y sequías. Se prevé que las variaciones climáticas producirán un aumento en la frecuencia de dichos fenómenos y un incremento en la demanda de agua, especialmente en el centro norte del país (INEGI, 2011). De acuerdo con el Consejo Estatal Agropecuario de Desarrollo Sustentable (2023), a consecuencia de la disminución de precipitaciones y disponibilidad de agua en presas, para el ciclo agrícola 2023-2024 se dejaron de sembrar alrededor de 250 mil hectáreas en Sinaloa; Becerra, (2024), estima que en términos monetarios, el impacto sería de 15 mil millones de pesos, lo que significa alrededor del 2 por ciento del Producto Interno Bruto Estatal.

La CONAGUA ha estimado que la agricultura de regadío consume alrededor del 70% del agua disponible, la cual es gestionada ineficientemente. En México y Sinaloa, el mayor uso consuntivo es el agrícola, con el 75.7% y 93 % respectivamente. La fuente predominante es la superficial, con el 63.4% del volumen concesionado para este uso a nivel nacional y 90% a nivel estatal. Es clara

y preocupante la dependencia que se tiene del vital líquido para el desarrollo de las actividades agrícolas en México y Sinaloa, pero es aún más preocupante que solo el 35 % es aprovechada eficientemente en la generación de cultivos según datos de CONAGUA (2023).

Eficiencia en la gestión y uso del agua debe ser la clave para los gestores del agua principalmente en el riego. Se requiere eficiencia en todas las operaciones, el aprovechamiento del agua superficial almacenada en presas debe llegar al óptimo en los cultivos agrícolas, la sustracción de agua del subsuelo se debe mantener en un mínimo, y entregarse donde, cuando y en la cantidad requerida. Los desperdicios deben reducirse en todos los eslabones de la cadena de suministro (Altamirano, et al., 2019).

Por un lado, es necesario utilizar menos agua para fines agrícolas dada la escasez de este recurso y la baja eficiencia en la actividad, pero también, el uso más intensivo del agua en la agricultura es un elemento fundamental para incrementar la producción de alimentos de forma sostenible que responda a las necesidades poblacionales (Banco Mundial, 2017). Se plantea necesario reconsiderar de manera obligatoria una gestión integral del agua en la agricultura y su reposicionamiento en la ordenación de los recursos hídricos y la seguridad alimentaria.

En México, la infraestructura de riego comprende 7.2 millones de hectáreas al año 2018, de las cuales 3.3 millones corresponden a 86 distritos de riego y ocupa el sexto lugar mundial (CONAGUA, 2023). Se estima que en el Estado de Sinaloa la infraestructura hidroagrícola es de regular a malo, pues ya cumplió más de 50 años de vida útil. En la conducción se estima que sólo el 40% de la red se encuentra revestida o entubada, lo que representa una pérdida de 37.5 litros por cada 100 de agua, por procesos de evotranspiración, filtraciones y fugas principalmente. Parte importante y en torno a la cual gira esta investigación es la relacionada con los procesos operativos y de seguimiento que representan una pérdida de 27.5 litros por cada 100 en pérdidas de agua en parcelas (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, 2023).

Esta tesis se justifica dado el incesante problema del agua en México y el mundo, como consecuencia de los cambios en la precipitación y de gran afectación a las actividades productivas de alta dependencia como la agricultura, ponen de manifiesto la necesidad de analizar la gestión y uso del agua en el cultivo de maíz en distritos de riego de Sinaloa, dada la alta dependencia que tiene este sector al agua superficial (93%) por su vocación agrícola, representando para el Estado un riesgo la presencia de ciclos de baja distribución y un mal aprovechamiento del agua.

El Sistema Hidroagrícola Sinaloense (SHISIN) es el más importante a nivel nacional en cuanto a número de distritos de riego, superficie de riego sembrada, presas y capacidad de almacenamiento, sin embargo enfrenta un problema estructural e interno. El estado de la infraestructura hidroagrícola es de regular a malo, dado a que ya cumplió con su vida útil (más de 50 años de antigüedad) como lo plantea Montiel et al. (2019). Mayor aun es el problema al estimarse solo un 33% de eficiencia global a nivel de distrito de riego; es decir, hay un desperdicio en la conducción del 37.5% y 27.5% en la aplicación del agua en las parcelas por motivos técnicos, de infraestructura, operativos, culturales, administrativos, etc.

Con base en lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación que guía el rumbo de esta tesis, ¿Qué cambios determinan una mejora en la gestión y uso del agua en el cultivo de maíz en distritos de riego de Sinaloa?, la cual ayuda a responder la hipótesis que plantea que la gestión y uso del agua en el cultivo de maíz es deficiente en los distritos de riego de Sinaloa, sin embargo existen ciclos de baja distribución en que se promueve una mejora en la eficiencia del agua y se alcanzan niveles de producción estimados.

El objetivo general es determinar los cambios en la gestión y uso del agua en el cultivo de maíz en los distritos de riego de Sinaloa en los ciclos agrícolas 1999 al 2022 mediante un modelo econométrico y análisis de base de datos.

Es importante aclarar que en esta tesis el término “eficiencia”, será utilizado para referirse a una condición cualitativa del sistema hídrico o bien de la gestión y uso

del agua donde lo que se promueva sea una mejora o no de las condiciones de estos como resultado del procesamiento de los datos.

Esta investigación de corte cuantitativo pretende analizar la evolución de los ciclos agrícolas del maíz de 1999 al 2022 e identificar los cambios en la producción en relación con la distribución de agua, y a través de una regresión con datos panel de efectos fijos de sección cruzada y cruce con la base de datos encontrar los cambios en la gestión y uso del agua en los 7 DR analizados.

Esta investigación toma como unidad de análisis a 7 Distritos de Riego (DR, en adelante) que conforman el Estado de Sinaloa, y analiza la producción de maíz como cultivo único en el ciclo tomando como base los datos históricos de 1999 al 2022 de las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego de CONAGUA. Se plantea analizar la gestión y uso del agua en el cultivo de maíz, considerando la producción de maíz y tomando como variable explicativa el volumen de agua distribuido y variables de complemento para el análisis como superficie sembrada, rendimiento y lámina bruta de riego.

Dados los cambios tan presentes en la baja disponibilidad de agua a consecuencia de la variabilidad climática y las afectaciones al sector agrícola en el Estado de Sinaloa hacen obligatoria este tipo de análisis. Contribuye en lo científico dado que son pocos los estudios relacionados con la gestión y uso del agua y su eficiente aprovechamiento en los DR de Sinaloa. El análisis de bases de datos oficiales de distribución de agua y volumen productivo permitirá observar los cambios de la gestión y uso del agua en los ciclos agrícolas del maíz de 1999 al 2022 y presentar recomendaciones de mejora al interior de los DR para mayor optimización del agua en ciclos de escasos y normales.

En el análisis metodológico se propone crear un modelo de regresión lineal con datos panel de efectos fijos de sección cruzada, considerando a los distritos de riego como agentes sociales con datos que van de 1999 al 2022. La variación intertemporal y/o transversal de la variable explicativa (volumen de agua distribuido), permitirá conocer el nivel de producción de maíz con especial énfasis en los ciclos

de baja distribución de agua permitiendo hacer un análisis sobre cambios en la gestión y uso de agua derivado de los resultados.

En la estructura de la tesis se identificará en el primer capítulo un análisis sobre las problemáticas en la gestión y uso del agua, el aprovechamiento para uso agrícola en los DR de Sinaloa; de la importancia que tiene el agua superficial, de la relevancia de una gestión eficiente de los recursos escasos, sobre los antecedentes de gestión del agua en México y sobre los elementos que propician un mal aprovechamiento del agua en la agricultura en Sinaloa. En el segundo capítulo se aborda el estudio de la gestión y uso del agua como objeto de estudio. Se analiza la complejidad de los problemas ambientales en la modernidad y la economía ambiental para explicar la degradación de los recursos naturales y uso de recursos escasos; también se analiza la teoría general de sistemas y teoría Sinérgica para entender los elementos que propician una gestión eficiente del agua en la agricultura. Se analizan los paradigmas de la gestión del agua en los últimos años y se revisa material científico relacionado con el estudio de la gestión del agua.

En el tercer capítulo se precisa de manera detallada la metodología que se implementa. Primeramente se definen consideraciones operativas y metodológicas para comprender la dimensión y funcionamiento de la unidad de análisis así como elementos del modelo econométrico; en lo operativo una descripción del DR y su operación, distribución y manejo del agua, características de la infraestructura hidroagrícola en Sinaloa, así como una caracterización del área de estudio. En las consideraciones metodológicas se aborda la econometría y el uso de modelos econométricos en el análisis de datos que respondan a problemáticas socioeconómicas, características del modelo de regresión lineal, el modelo de datos panel y su clasificación. Finalmente en este capítulo se realiza la aplicación del modelo econométrico de regresión lineal con datos panel de efectos fijos de sección cruzada y todas las etapas que conlleva su aplicación. El cuarto capítulo analiza los resultados del modelo econométrico y cruce de resultados con la base de datos. Finalmente en el quinto capítulo de conclusiones y recomendaciones, se responden los planteamientos propuestos para esta tesis y se proponen algunas

recomendaciones a retomar de carácter público y científico en el estudio de la gestión y uso del agua en distritos de riego, así como resultados de interés general para la sociedad y tomadores de decisiones.

Capítulo 1. Gestión y aprovechamiento del agua para uso agrícola en Sinaloa

1.1 La importancia del agua para uso agrícola

En la actualidad suelen conjugarse factores que motivan ciertas preocupaciones en la sociedad y entornos donde se desarrollan las actividades productivas a consecuencia de eventos como el cambio climático, crisis alimentaria y una evidente alteración de los recursos naturales; El constante incremento en la demanda de agua ligado al aumento de la población y su consecuente cambio en los patrones de consumo, el crecimiento económico y de la estructura productiva, así como la expansión de superficies agrícolas, impacta en la cantidad de agua disponible que debe ser atendida sobre la naturaleza de la escasez del agua (Pedroza, 2022).

La FAO (2012) refiere que el 25% de las tierras en el planeta para cultivo están siendo degradadas alcanzando en algunas regiones niveles críticos cuyo problema se agrava e incrementa por la escasez de agua tan frecuente en los últimos años. Se espera que hacia 2050 la población mundial alcance los 10 mil millones de personas y se proyecta que la economía mundial crezca casi cuatro veces, con una creciente demanda de energía y de recursos naturales para el desarrollo de la agricultura y otras actividades productivas; se prevé que para el año 2050 la actividad agrícola tendrá 40% menos agua de la que dispone ahora (OECD, 2012).

El monitoreo constante del nivel de precipitaciones y el conocimiento sobre la disponibilidad de agua de un territorio es fundamental para poder llevar a cabo procesos de manejo del recurso hídrico y el desarrollo de actividades productivas y domésticas. En México, las precipitaciones y disponibilidad de agua no son homogéneas a lo largo del territorio; en las estadísticas de SEMARNAT (2022) se observa que la zona centro norte del territorio recibe una precipitación media anual menor a los 600 mm en comparación con los estados del sur sureste del país donde la precipitación media anual llega a los 1400 milímetros.

México se encuentra en latitudes donde la precipitación se presenta sólo en algunos meses del año; Sosa (2012), señala que el 77% del total de las precipitaciones se registra durante la temporada de lluvia (entre los meses de junio a octubre) y se

concentra geográficamente al sur sureste de México. Así, el volumen de agua capturado en la temporada de lluvias determina la cantidad de agua disponible durante el año para actividades productivas y humanas de los diferentes sectores, ya sea que provenga de acuíferos o almacenada superficialmente en presas, como es el caso de Sinaloa.

Según datos de la CONAGUA (2019), al 2018, en México el 63.4% del agua para usos consuntivos¹ provenía de fuentes superficiales (ríos, arroyos, lagos y presas), el resto de aguas subterráneas. Del total del volumen concesionado para usos consuntivos, al 2018 el 75.7% le pertenecía al uso agrícola.

En México y Sinaloa, el mayor uso consuntivo es el agrícola, con el 75.7% del volumen concesionado a nivel nacional y 93 % a nivel estatal. La fuente predominante es la superficial (agua en presas), con el 63.4% del volumen concesionado para este uso a nivel nacional y 90% a nivel estatal. Al año 2018, la superficie sembrada bajo riego en México fue de 7.2 millones de hectáreas, de las cuales 3.3 millones corresponden a 86 distritos de riego, y el restante en más de 40 mil unidades de riego administradas por particulares (CONAGUA, 2023). En Sinaloa, De acuerdo a datos de la Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa, (CAADES), la superficie agrícola total de Sinaloa es de 800,000 hectáreas de riego y 700,000 ha de temporal, en las que se producen anualmente 10 millones de toneladas de alimentos con un valor estimado de 40 MMP (Agroasemex, 2018).

1.2 La relevancia de una gestión eficiente del agua en la agricultura

El agua es un recurso estratégico para garantizar el bienestar y la calidad de vida de la población, así como para promover el desarrollo económico de las ciudades y

¹ Los volúmenes de aguas nacionales concesionados o asignados a los usuarios se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), agrupándose para fines prácticos en usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y termoeléctricas) y no consuntivos (hidroeléctricas y conservación ecológica) (CONAGUA, 2019).

zonas rurales (Sosa, 2012). En consecuencia, garantizar el acceso a este recurso para un consumo humano seguro, preservación de los ecosistemas y desarrollo de actividades productivas como la agricultura es un tema prioritario para la seguridad nacional.

Abordar el tema de la gestión y uso del agua de manera integral (como un sistema), como se plantea en esta investigación, enarbola los planteamientos del paradigma actual de la gestión del agua que a nivel mundial se promueve, haciéndose explícito en políticas nacionales para promover una mayor eficiencia en los diferentes usos que se le dan a este recurso. Para Martínez y Villalejo (2018), la gestión integral del agua busca reorientar el desarrollo de las políticas públicas en materia de recursos hídricos, mediante la conciliación entre el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas naturales.

La diversidad de intereses relacionados con los distintos usos del agua, plantean retos importantes y variados que inciden en la toma de decisiones concernientes al manejo del recurso hídrico, especialmente cuando se procura satisfacer, aplicando los principios de equidad y de conservación del recurso, las necesidades y deseos de los diferentes usuarios y partes interesadas. Esta visión de conjunto se denomina gestión integral de los recursos hídricos (GIRH), y como su nombre lo indica, imprime coherencia a los intereses vinculados con el uso, control, aprovechamiento, preservación y sostenibilidad de los sistemas hídricos (Global Water Partnership, 2000). Se entiende entonces como un proceso que promueve el desarrollo y la administración coordinada del agua, la tierra y los diferentes recursos relacionados para maximizar los resultados económicos y la asistencia a la sociedad equitativamente sin afectar la sostenibilidad de los ecosistemas.

La Comisión Nacional del Agua (2020), en su registro de volúmenes inscritos por fuente de extracción, muestra que a nivel nacional el 60% del agua para los diferentes usos consuntivos es de origen superficial y el 40% subterránea. Para la región hidrológica administrativa Pacífico Norte que incluye Sinaloa y parte de Sonora y Nayarit, la proporción es 86% superficial y 14% subterránea. En el Estado de Sinaloa, el consumo de agua para los diferentes usos consuntivos representa

90% superficial y 10% subterránea. Se observa que el 93% del volumen concesionado por fuente superficial es para uso agrícola, manteniendo así una fuerte dependencia al agua superficial para esta actividad, representando un serio problema a este sector productivo la presencia de bajas precipitaciones y por consecuencia menor captación en presas y acuíferos, disponible para agricultura principalmente en el Estado.

En el análisis de la gestión y uso del agua debe entenderse que la base son los cambios climáticos o biofísicos, y partimos de esta base ante un escenario de escases o abundancia para determinar la cantidad de agua disponible para el desarrollo de la actividad agrícola y el sistema de gestión al que es sometido. Es importante mencionar que el sistema de gestión del agua que se plantea es el resultado de una suma de elementos que trabajan en conjunto, tecnológico, económico, socio cultural, ambiental o biofísico y político administrativo. Estos subsistemas parten de los cambios en precipitación y disponibilidad de agua en presas, que son los que determinan los ciclos de abundancia y escases para la actividad agrícola.

El tema de la gestión del agua para uso agrícola en distritos de riego en Sinaloa, responde a la necesidad de hacer más con menos recursos, es decir, lograr las metas con la menor cantidad de recursos o factores productivos. Millan y Soto (2020), señalan que la eficiencia en el proceso de producción determina que la productividad pueda ser incrementada sin necesidad de incorporar nuevas tecnologías. Bastaría con aprovechar mejor los recursos disponibles que sin duda cada día son escasos, lo cual resultaría en una alternativa más efectiva que permitiría incrementar las hectáreas cultivadas y aumento en la producción de alimentos al corto plazo. Para estos autores, sería indispensable crear mecanismos que generen incentivos para que los recursos productivos se combinen en la producción agrícola eficientemente.

1.3 Antecedentes del uso y gestión del agua en México

En los últimos 100 años, el uso expansivo del agua en actividades de irrigación, urbano e industria principalmente se ha basado en el desarrollo de una estructura hidráulica sólida que responda a estas necesidades. Sin embargo, el incremento poblacional y urbanización desmedida de ciudades ha incrementado la demanda de agua, y contrariamente se han presentado ciclos de escases que limitan el uso del recurso humano y productivamente.

Históricamente, la tradición hidráulica en México ha estado asociada a los quehaceres cotidianos e íntimamente al desarrollo socioeconómico a través de acueductos, sistemas de riego, chinampas y complejos hidráulicos. Desde la conquista las obras para la conducción del agua representaban para muchas ciudades su continuidad al asegurar el abasto a la ciudad, en algunas permitía el establecimiento y desarrollo de actividades mineras, agrícolas y puertos (Lopez, 2009). La agricultura experimentó un fuerte desarrollo, fomentando la construcción de presas en todo el país y establecer un sistema de producción agrícola controlado para impulsar al sector y bienestar del agro mexicano. Después de la constitución de 1917, y como parte de sus principios rectores, se crea en 1926 la Ley de Aguas de Riego y la Comisión Nacional de Irrigación. Posteriormente, con la creación de la Secretaria de Recursos Hidráulicos en 1947 se da inicio con los esfuerzos gubernamentales para desarrollar acciones para el manejo integral de los recursos hídricos para los distintos usos a través de las principales cuencas del país.

Las necesidades que imponía la sociedad para actividades domésticas y productivas propiciaron que se formularan distintos planes sectoriales y regionales de intervención para ordenar e impulsar el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos en 1960. Para 1972 con la promulgación de la Ley Federal de Aguas se dio pie a los trabajos para el desarrollo de un nuevo marco de la política hídrica formulándose así el primer Plan de Aguas Nacionales en 1975.

Desde 1940 con el llamado Milagro Económico Mexicano se propicia en el país un estímulo al desarrollo urbano como consecuencia de la continua industrialización de ciudades de alto dinamismo manufacturero, atrayendo de esta manera a grandes

cantidades de población de localidades rurales a la ciudad (Fierros, 2014). Para 1980 la mayoría de las capitales del país eran importantes centros de abasto y comercialización de productos proveniente de importantes regiones agrícolas e industriales en constante crecimiento. Se puede inferir que la expansión económica a consecuencia de una globalización de los mercados implicó un desarrollo urbano e industrial acelerado, y de esta forma una demanda extraordinaria de los recursos hídricos que permitieran el desarrollo de todas las actividades económicas y domésticas de la población.

En 1989 se creó la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), como organismo federal desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Una de las principales obligaciones fue el establecimiento de un marco jurídico para regular el agua y su uso en México. En diciembre de 1992 con la publicación de la Ley de Aguas Nacionales se consolidan los esfuerzos gubernamentales por establecer una política centrada en una “gestión integrada del agua” (CONAGUA, 2017). Esta Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México (GIRHM), fue un nuevo enfoque que busca precisamente aplicar un esquema inédito en el uso y manejo del agua, el cual se encuentra soportado por dos pilares fundamentales y que sustentan a la GIRHM: la Ley de Aguas Nacionales de 1992 y la CONAGUA, como organismo público federal con carácter técnico, administrativo, normativo, consultivo, controlador y protector en relación al dominio público del agua (CONAGUA, 2017).

Con la creación de la CONAGUA y la promulgación de la Ley de Aguas Nacionales, dio inicio la transferencia de los Distritos de Riego (DR) a los módulos de riego apoyada en un programa de rehabilitación parcial de la infraestructura que se ha ido concesionando; A diciembre de 2016, se había transferido a los usuarios más del 99% de la superficie total de los DR (A excepción de 003 Tula y 018 Colonias Yaquis) (Pedroza e Hinojosa, 2022).

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) contempla que la CONAGUA debe hacer público en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la cantidad de agua disponible, considerando para esto las aguas contenidas en todas las presas del país y

clasificándolas como Aguas Superficiales y aguas subterráneas de acuerdo con los estudios técnicos y lineamientos considerados en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

La publicación de la disponibilidad de agua subterránea, servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos, así como la resolución de conflictos entre usuarios (CONAGUA, 2020).

Respecto a la cantidad de agua superficial disponible, medida está a través de los almacenamientos en las diferentes presas y como consecuencia directa del nivel de precipitaciones a través del método de balance hídrico de embalses; es sumamente importante entender que en la actualidad existen variaciones climáticas que condicionan el nivel de precipitaciones y por ende la cantidad de agua disponible para los diferentes usos.

Sosa (2012) comenta que las ciudades más dinámicas y con mayor crecimiento están en la zona centro norte del país. Estas zonas industriales y agrícolas enfrentan severos problemas de disponibilidad de agua como consecuencia en los cambios de precipitación y una gran presión por la demanda de agua, ya que concentran más de tres cuartas partes de la población nacional (cercana al 80%) y una contribución al PIB del 87%.

1.4 Aprovechamiento del agua para uso agrícola en Sinaloa

Un factor que afecta intensamente al desarrollo agrícola en el país y, en especial a los productores del Estado de Sinaloa en los últimos 20 años, es la problemática de escasez del agua como consecuencia de las variaciones en las precipitaciones. Según los escenarios presentados en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND, 2013) esta será cada vez más frecuente e impactará al sector agrícola nacional donde los niveles de embalse no serán suficientes para garantizar la demanda en la región, tal es el caso del Estado de Sinaloa.

Se han identificado periodos de escasez que afectan principalmente al norte y centro del país, son visibles los efectos de las sequias y la baja disponibilidad de agua almacenada en presas. Los cambios en la precipitación a consecuencia de las variaciones climáticas son observables en eventos extremos que afectan a la agricultura. En febrero de 2011, justo en el pico de la etapa productiva del cultivo de maíz, una helada extrema destruyó el 90% de los cultivos en todo el Estado de Sinaloa, y peor aún, en noviembre del mismo año, el norte de México sufrió su peor sequía registrada en los últimos 70 años impactando fuertemente a los niveles de embalse de las presas sinaloenses. Las proyecciones climáticas señalan que para el año 2030 las temperaturas en Sinaloa aumentarán hasta en 1.7 °C y la precipitación disminuirá hasta en 71 mm (CGIAR Research Program on Climate, 2021).

En México, el Sistema Hidroagrícola Sinaloense (SHISIN) es de gran importancia en tanto a número de distritos de riego, superficie de riego, presas y capacidad de almacenamiento. Las 11 presas de almacenamiento que distribuyen agua a la agricultura tienen una capacidad de conservación de 15,609.5 millones de metros cúbicos (Mm³), para regar 8 distritos de riego que cuentan con una superficie de riego de 780,905 hectáreas (ha) y 84,344 usuarios distribuidos en 49 asociaciones/módulos de riego (CIMMYT, 2021; ANUR, 2023). Es importante mencionar que la presa Picachos en Mazatlán y Santa María en el Rosario, están programadas para que inicien operaciones en el 2024 sumando una cantidad mayor de hectáreas, usuarios y asociaciones de riego.

Aunado al problema de los cambios climáticos y escases de agua, el sistema hidroagrícola sinaloense enfrenta un problema estructural e interno. De las 7.2 millones de hectáreas bajo riego en México, se estima que el 90% de la superficie se riega por gravedad, donde el estado de la infraestructura hidroagrícola es de regular a malo, debido a que ya cumplió con su vida útil (cuenta con más de 50 años de antigüedad) (Montiel et al., 2019).

La Coordinación de Riego y Drenaje del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, afirma que la eficiencia de conducción promedio nacional es del 62.5%, esto es el agua que sale de las presas y llega hasta el predio (CONAGUA, 2019). Con estos datos, la eficiencia general a nivel de Distritos de Riego se estima del 35%; 37.5 litros se desperdician en las redes de conducción que ya cumplieron con su vida útil y 27.5 litros se pierden en las parcelas por un mal uso por parte del usuario y condiciones de parcela, por lo que solo 35 litros son aprovechados eficientemente en los cultivos de maíz.

Las investigaciones de Montiel et al. (2019), demuestran que son diversas las problemáticas al interior de los distritos de riego y en parcelas que propician una deficiente gestión del agua. En el proceso de conducción se estima que solo el 40% de la red de canales principales y secundarios se encuentra revestida o entubada. Si añadimos que la medición del agua en la parcela es prácticamente nula, entonces el volumen neto aplicado por predio y cultivo se subestima al no contabilizar adecuadamente cada litro por falta de supervisión y seguimiento de la superficie real sembrada. Una problemática más es la falta de programación correcta de la cantidad de agua demanda para cada riego semanal, así como una red menor de canales y regaderas con claros problemas de conservación. Todo lo anterior, se suma a una falta de capacitación a los operadores de canales y al “Huachicoleo” permanente del agua en las redes de canales y a nivel parcelario por parte de los productores que no respetan las asignaciones de riego establecidas así como actos vandálicos y robos de infraestructura (Montiel et al., 2019).

También en las parcelas hay un desperdicio constante, donde los productores usan desfogues a drenes por falta de supervisión del riego por los canaleros u operarios. Otro problema son los trazos de riego inadecuados con tiradas de más de 400 metros que provocan riegos o infiltraciones excesivos que van por debajo del área radicular o se aplican láminas de riego muy altas donde se pierde gran cantidad de agua (Montiel-Gutierrez et al., 2019). Así también, es recurrente una programación del riego inadecuada (Intervalos de riego menores a los necesarios para cada cultivo), mala uniformidad del riego por problemas de nivelación en la parcela.

También y menos importante, se tienen deficiencias en el recurso humano donde los directivos, usuarios, técnicos, canaleros y regadores deben ser capacitados.

A consecuencia de la escases de agua en los últimos años, y como instrumento de poder para el cobro de cuotas y control del agua para el desarrollo de las actividades agropecuarias principalmente, productores y organizaciones han confirmado la presencia del crimen organizado en el manejo y distribución del agua en módulos de riego del Estado de Sinaloa y Sonora. Fernandez (2024), señala que en el noroeste de México, la guerra por el agua tradicionalmente se desarrollaba entre autoridades y comunidades indígenas, sin embargo ahora se libra con grupos criminales que quieren controlar el agua y a partir de ella extorsionar a productores agrícolas. En Sonora y Sinaloa, según este autor, el agua no sólo es vital: es un instrumento de poder.

La modernización y tecnificación de los módulos de riego mediante inversiones millonarias en infraestructura y equipo para aumentar la eficiencia en el uso de agua de riego son insuficiente en la práctica para lograr la sostenibilidad y sustentabilidad del recurso, dado que la gestión del agua intervienen factores socio culturales, administrativos, económicos, tecnológicos, entre otros que desempeñan un papel determinante y no deben ser ignorados (Ortega, 2013).

La mayor parte de los indicadores de escasez hídrica y deficiencias en la gestión del agua han centrado su análisis en temas relativos a su disponibilidad física dependiente del clima (Liu et al., 2017). Menos atención se ha puesto a la naturaleza de la escasez del agua explicada por la relación entre escasez del agua, gestión y factores socioculturales, que también determinan la cantidad de agua disponible para uso agrícola.

Capítulo 2. Teorías y paradigmas en el estudio de la gestión del agua.

2.1 El concepto de gestión del agua y su aplicación

En todo el mundo, el empleo del agua y su gestión han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible, de ahí que todo lo relacionado con su comercialización y uso sea de alto interés (Zuñiga & Mendoza, 2021). Uno de los sectores productivos que mayor demanda tiene del agua es la agricultura, por lo que resulta de gran interés conocer el uso que se está haciendo en este sector, cultivos con riegos y posibilidades de mejora. Una gestión adecuada de este recurso es vital (Araújo et ál., 2019).

Definir el concepto de gestión del agua científicamente puede resultar impreciso. De manera particular el término “gestión” según la Real Academia Española (2021) refiere a “Acción y efecto de administrar”. Así, hablando del recurso hídrico, la gestión del agua puede ser interpretada básicamente como la *Administración del agua*.

La gestión del agua o entendida como Gestión Integral de los Recursos Hídricos desde 1990, es un término o concepto cuyo origen posiblemente se remonta en el establecimiento de los cuatro Principios de Dublín, definidos en la 1ra. Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA) celebrada en Dublín, Irlanda, en 1992 (Martínez & Villalejo, 2018), los cuales han permitido un fortalecimiento en la concepción de este término y subrayan la idea de que para un desarrollo sostenible es imprescindible alcanzar la integridad medioambiental, el bienestar económico y la justicia social (Martinez, 2012).

Estos principios valorizan la necesidad de una participación integral y manejo eficiente del agua. 1) El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, 2) El desarrollo y manejo del agua deberían ser participativos, 3) La mujer desempeña un papel fundamental en la provisión, manejo y protección del agua, y 4) El agua tiene un valor económico en todos los usos de la misma que compiten entre sí y debería reconocerse como un bien económico.

En México, hasta la década de los noventa el manejo y distribución del agua se daba a través de un arreglo institucional del gobierno federal, que para aquellos

años no se tenía en cuenta la noción de escasez de este recurso sino más bien se basaba en la idea errónea de la abundancia del recurso. Esta percepción tenía un cierto fundamento en la época donde la presión demográfica y la urbanización no tenían las características que se han presentado desde 1970 hasta hoy, ni la problemática del agua había alcanzado los niveles que hoy conocemos a consecuencia de su demanda para los diferentes usos consuntivos y las precipitaciones no habían presentado tantas variaciones climáticas (Amaya, 2013).

El término “gestión del agua” en México, surge con la creación de la CONAGUA en 1989. Una de sus principales tareas fue el establecimiento de un marco jurídico que regulara el agua y su uso. En 1992 con la publicación de la Ley de Aguas Nacionales, cuya principal propuesta fue la “gestión integrada del agua” (CONAGUA, 2017). Esta Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México (GIRHM), buscaba precisamente aplicar un esquema inédito en el uso y manejo del agua, el cual podría interpretarse como el proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente; con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (Valencia et ál., 2007).

Según lo establece la Ley de Aguas Nacionales en el artículo 3 fracción XXVIII, La Gestión del Agua es el proceso sustentado en el conjunto de principios, políticas, actos, recursos, instrumentos, normas formales y no formales, bienes, recursos, derechos, atribuciones y responsabilidades, mediante el cual coordinadamente el Estado, los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad, promueven e instrumentan, para lograr el desarrollo sustentable en beneficio de los seres humanos y su medio social, económico y ambiental (Diario Oficial de la Federación, 2023). Mediante esta ley, se proponen acciones para: 1. El control y manejo del agua y las cuencas hidrológicas, incluyendo los acuíferos, por ende su distribución y administración, 2. La regulación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua, y 3. La preservación y sustentabilidad de los recursos hídricos en cantidad y calidad, considerando los riesgos ante la ocurrencia de fenómenos

hidrometeorológicos extraordinarios y daños a ecosistemas vitales y al medio ambiente (Valencia et ál., 2007).

La Asociación Global del Agua (Global Water Partnership, GWP, (2022) consideran a la gestión del agua como “Gestión Integrada de los Recursos Hídricos”, la cual define como *“un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el resultante bienestar económico y social de una forma equitativa y sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales”*. Cabe aclarar que este concepto acuñado por la GWP refiere al modelo de gestión del agua que en la actualidad es aceptado por la comunidad internacional.

Un estudio reciente del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) promueve que la gestión integral del agua implica la toma de decisiones y manejo de los recursos hídricos para distintos usos de tal forma que se consideren las necesidades y deseos de los diferentes usuarios y las partes interesadas. Según este estudio, la gestión integral del agua considera la gestión del agua superficial y subterránea en un sentido cualitativo, cuantitativo y ecológico desde una perspectiva multidisciplinaria y centrada en las necesidades y requerimientos de la sociedad en materia de agua (Dourojeanni, Jouravlev, & Chávez, 2002).

A fin de garantizar la seguridad alimentaria y la gestión del agua en actividades agrícolas, el Organismo Internacional de Energía Atómica (2022) refiere que es preciso producir urgentemente más alimentos por cada gota de agua utilizada en la agricultura, y así garantizar que una mejora en la eficiencia en el uso del agua promueva la preservación del agua en las cuencas para diversidad de actividades productivas.

Para este organismo, las mejoras en la gestión del agua deben considerar un enfoque integral en el que se considere tanto la gestión del suelo, el agua, las plantas y los nutrientes. Más importante, se debe incluir la programación y optimización del riego, así como sistemas de riego eficientes, como el riego por goteo cuando las condiciones lo propicien. Es preciso mejorar la fertilidad del suelo con nutrientes y sin restricciones físicas, y que cada gota de agua pueda

aprovecharse en su totalidad para el crecimiento de los cultivos. Es posible lograr que los cultivos absorban el agua eficientemente mediante un calendario de riego que se base en la demanda real de los cultivos, etapas de crecimiento y condiciones ambientales imperantes por zonas.

El tema de la gestión del agua es de carácter y aplicación universal. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2022), refiere que la utilización de menos agua en la producción de alimentos es uno de los grandes desafíos en los últimos años.

La FAO como organismo de las Naciones Unidas, trabaja con los países para asegurar que el uso del agua utilizado en la agricultura sea más eficiente, productivo y con estricto respeto al medio ambiente. Esto implica producir más alimentos mientras se utilizan menos agua, construir la resiliencia de las comunidades agrícolas para hacer frente a las inundaciones y las sequías y aplicar tecnologías de agua limpia que protejan el medio ambiente (FAO, 2018). La FAO también apoya a los países dando seguimiento del uso del recurso hídrico y la presencia de estrés por déficit hídrico.

Para el Banco Mundial (2022), El agua es crucial para determinar si el mundo alcanza o no los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Para esta organización, la gestión del agua es el proceso que considera una planificación, desarrollo y gestión de los recursos hídricos, en términos de cantidad así como calidad del agua, en todos los usos que pueda tener. Incluye las instituciones, la infraestructura, los incentivos y los sistemas de información que apoyan y guían la gestión del agua (World Bank, 2022).

Para algunos autores, la gestión del agua considerada desde una perspectiva multidisciplinaria, comprende el manejo del agua superficial y subterránea, en sentido cualitativo, cuantitativo y ecológico, y vincula sus disponibilidades con las necesidades y las demandas de la sociedad relacionadas con el agua (Martínez & Villalejo, 2018). De tal forma que se orienta a la construcción de una plataforma común y universal, en la que todos los individuos y sectores que utilizan el agua en alguno de los procesos productivos vinculen sus intereses, en un plano de

coordinación transversal de asignación de agua donde sometan sus propuestas de intervención al contexto global.

Para Savenije & Van der Zaag (2008), La gestión integrada de los recursos hídricos, busca gestionar los recursos hídricos de forma integral y holística. Por lo tanto, debe considerar los recursos hídricos desde diferentes perspectivas o dimensiones. El “ciclo de gestión” (planificación, seguimiento, operación y mantenimiento, etc.) debe ser consistente.

Debido a la naturaleza del agua, la gestión del agua debe tener en cuenta las siguientes cuatro dimensiones según estos autores:

1. Los recursos hídricos o la dimensión natural. Tomando en cuenta todo el ciclo hidrológico, incluidas las reservas y caudales, así como la cantidad y la calidad del agua; distinguiendo, por ejemplo, lluvia, humedad del suelo, agua en ríos, lagos y acuíferos, en humedales y estuarios, considerando también los flujos de retorno, etc.
2. Los usuarios del agua. La dimensión humana, todos los intereses y partes interesadas.
3. La escala espacial. Incluyendo la distribución espacial de los recursos y usos del agua. las diversas escalas espaciales en las que se gestiona el agua, es decir, usuario individual, grupos de usuarios, cuenca hidrográfica, cuenca de captación, cuenca (internacional), y los arreglos institucionales que existen en estas escalas.
4. La escala temporal. Teniendo en cuenta la variación temporal de la disponibilidad y la demanda de recursos hídricos, las estructuras físicas que se han construido para equilibrar las fluctuaciones y ajustar mejor el suministro con la demanda.

Así, para Savenije & Van der Zaag (2008), la gestión del agua o entendida internacionalmente como Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, reconoce todo el ciclo del agua con todas sus características naturales, así como los intereses

de los usuarios del agua en los diferentes sectores de una sociedad (o de toda una región); por lo tanto aborda la dimensión natural como la humana del agua.

Para Van Der Zaag (2005) la búsqueda sistemática de una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) conduce a la seguridad hídrica a largo plazo, lo que presupone que logremos nuestros recursos de manera holística. Significa conciliar las necesidades humanas básicas, asegurando el acceso y la equidad, con el desarrollo económico y medio ambiente.

El actual modelo de gestión del agua a nivel mundial, elimina la perspectiva sesgada que protege el interés particular y defiende una perspectiva que represente a todos los sectores involucrados (Martínez & Villalejo, 2018). Para estos autores, con una gestión integral de los recursos hídricos, el enfoque debe cambiar de la explotación (modelo consumista), a una conservación y uso racional del recurso (manejo integrado), así como una gestión de oferta a una gestión de la demanda.

2.1.1 Uso del agua

El agua es empleada de diversas formas prácticamente en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o para producir e intercambiar bienes y servicios (CONAGUA, 2019).

Como se ha planteado en el primer capítulo de esta tesis, el término uso del agua hará referencia a la cantidad de agua usada en la agricultura para el cultivo de maíz en los ciclos agrícolas 1999 al 2022 considerados en el modelo econométrico, y permitirán realizar comparaciones de uso entre un ciclo y otro, sirviendo de base para el análisis de la gestión del agua con el uso de información complementaria de la base de datos.

Según la CONAGUA (2019), uso del agua hace referencia a la aplicación del agua a una actividad económica específica. Según este organismo, cuando existe consumo de agua, entendido como la diferencia entre el volumen de agua suministrado y el volumen descargado o consumido, se conoce como uso consuntivo; Existen otros usos que no consumen agua a los que se les llama no

consuntivos como es la generación de energía eléctrica mediante turbinas que utiliza el agua almacenada al salir por el canal principal.

Destaca entre los diferentes usos el destinado al riego de cultivos, el cual representa el 77% del total destinado a usos consuntivos en el país. El 63% del agua utilizada a nivel nacional para usos consuntivo proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), mientras que solo el 37% restante proviene de fuentes subterráneas (acuíferos) (CONAGUA, 2020). En el caso de Sinaloa, el 90% del agua usada para los diferentes usos depende de las precipitaciones o técnicamente llamada agua superficial donde la agricultura de riego usa el 93%.

En forma general al hablar de eficiencia en el uso del agua se refiere a la (Palacios, Palacios y Espinosa, 2018). Como se describirá en la metodología, se utilizará la variable volumen de agua distribuido asociada con la producción de maíz como principal cultivo en los distritos de riego para determinar en qué medida el agua se usó eficientemente y pudieron o no haberse mejorado los procesos de gestión del agua.

Para el caso de esta investigación, y analizando los planteamientos anteriores sobre la gestión y uso del agua, se propone la siguiente definición en consecuencia a los alcances estimados.

Se entenderá por gestión del agua al enfoque integral que administra los recursos hídricos y su uso, teniendo como base el análisis retrospectivo de precipitaciones, disponibilidad de agua en cuencas, infraestructura hidráulica, distribución, organización, regulación de la explotación, uso o aprovechamiento en agricultura, con el fin de alcanzar un desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, que se traduzcan en una mejora en la eficiencia de los recursos hídricos maximizando el bienestar social y económico.

2.2 Fundamentos teóricos sobre la gestión del agua

2.2.1 La complejidad de los problemas ambientales y la economía ambiental en el estudio de la problemática del agua

De acuerdo con Morin (1993), un mínimo de conocimiento sobre lo que es el conocimiento nos enseña que lo más importante es la contextualización. partimos de la idea de que cualquier elemento del mundo no es un objeto aislado, sino que forma parte de un sistema mayor que lo contiene, por lo que se encuentra en constante interacción con otros elementos del sistema, así como con el sistema completo. Desde el enfoque del pensamiento complejo interpretado por Morín (2004), las sociedades, los individuos, incluso el universo se consideran “sistemas complejos”, sujetos a múltiples relaciones e interacciones entre sus componentes y con otros sistemas.

Desde la perspectiva del pensamiento complejo y estrechamente relacionado con la posición que, dentro de las Ciencias Sociales, defiende el denominado “enfoque sistémico”, ningún objeto o acontecimiento (que deba ser analizado por la ciencia) se encuentra aislado o desvinculado, sino que éste aparece dentro de un sistema complejo, desde donde entabla una gama de relaciones con otros objetos, ya sea “internos” (con otros objetos componentes del sistema), o “externos” (con elementos del ambiente, del entorno o del contexto de ese sistema) (Pereira, 2010).

El problema de la complejidad ha pasado a ser el problema de la vida y el vivir, el problema de la construcción del futuro y la búsqueda de soluciones a los problemas contemporáneos (Morin, 2004).

La crisis ambiental de nuestro tiempo es el signo de una nueva era histórica. Esta encrucijada civilizatoria es ante todo una crisis de la racionalidad de la modernidad y remite a un problema del conocimiento. La degradación ambiental, “la muerte entrópica del planeta” es resultado de las formas de conocimiento a través de las cuales la humanidad ha construido el mundo y lo ha destruido por su pretensión de unidad, de universalidad, de generalidad y de totalidad; por su objetivación y cosificación del mundo (Leff, 2007).

La complejidad ambiental es la reflexión del conocimiento sobre lo real, lo que lleva a objetivar a la naturaleza y a intervenirla, a complejizarla por un conocimiento que transforma el mundo a través de sus estrategias de conocimiento (Leff, 2007). No es casualidad que el pensamiento complejo, las distintas teorías de sistemas y las ciencias del análisis de la complejidad surjan al mismo tiempo que se hace presente la crisis ambiental, allá en los años sesenta, pues el fraccionamiento del conocimiento y la destrucción ecológica son síntomas del mismo mal civilizatorio. Este es el camino que a través de las ciencias ha construido la llamada Complejidad Ambiental.

Para Left (2007), Más que una mirada holística de la realidad o bien un método interdisciplinario que articula múltiples visiones del mundo y paradigmas de conocimiento que convoca a diferentes disciplinas, la complejidad ambiental o de los problemas ambientales es el campo donde convergen diversas epistemologías, racionalidades e imaginarios que interpretan los cambios en la naturaleza y que abren la construcción de un futuro sustentable.

A mitad del siglo pasado, se empezó a intensificar y a manifestar un gran interés por el análisis de temas relacionados con economía y medio ambiente, como consecuencia del deterioro y escasez de los recursos principalmente en países industrializados. Se argumenta que la actividad económica cada día demanda una cantidad mayor de recursos naturales, y que la producción de bienes y servicios tiene un impacto negativo en la cantidad y calidad de recursos ambientales. Dado que los servicios y bienes que proporciona la naturaleza, tienen un precio por debajo del óptimo o bien son gratuitos en alguno de los casos, generan un exceso de demanda por parte de los agentes económicos (Escalante y Catalán, 2005). Además, en el caso de recursos de acceso libre o gratuitos donde los derechos de propiedad no existen o son ambiguos, se pueden generar incentivos para sobreexplotar el recurso, y los costos individuales de sobreexplotación se reducen a cero o el mínimo, sin importar la cantidad disponible del bien; Consecuentemente se genera una dinámica constante donde una unidad que no fue tomada por un

individuo será tomada por otro, y por tanto, las conductas de conservación pierden sentido. Justo como sucede en el aprovechamiento del agua para uso agrícola.

Escalante y Catalán (2005), nos comentan que la teoría económica convencional explica el deterioro ambiental, dado que no existen mercados bien estructurados y funcionales donde se intercambien los bienes ambientales; por consecuencia los productores y consumidores no incluyen los costos implicados en sus decisiones, lo que explica el uso excesivo o mal orientados de los recursos naturales y por consiguiente el deterioro del medio ambiente.

Si abordamos a la economía como ciencia en particular, referimos que estudia cómo y por qué los individuos y grupos en una sociedad toman decisiones sobre el uso y la distribución de los escasos recursos materiales y financieros. Analiza situaciones de escasez de los recursos desde el punto de vista de la eficiencia económica.

La eficiencia económica según Corona (2012), tiene que ver con la asignación de los recursos a sus mejores usos. Considerando como “mejores usos” todos aquellos que generan los “mayores valores económicos”. Siguiendo la lógica económica, existe un gran volumen de literatura teórica y de evidencia empírica que respalda la hipótesis de que, si contamos con mercados competitivos, podemos alcanzar asignaciones eficientes desde el punto de vista económico que maximicen el bienestar económico de la sociedad; esta eficiencia económica es expresada en términos de asignaciones eficientes en el sentido de Pareto Corona (2012). Una asignación eficiente será un punto “Óptimo de Pareto” si al alcanzar un nivel máximo de bienestar económico, la sociedad ha agotado las ganancias derivadas del intercambio. Para alcanzar la condición de Óptimo de Pareto es muy importante la existencia de mercados competitivos. Desafortunadamente, los mercados competitivos, en ocasiones no son capaces de generar asignaciones eficientes de algunos bienes y/o servicios.

Para el caso de esta investigación y de acuerdo a la literatura, los distritos y módulos de riego pueden ser considerados los mercados donde se comercializa el agua, pues cada uno de los usuarios que desea acceder al recurso debe pagar una cuota.

La justificación que proporcionan algunos economistas según Corona (2012), es que los mercados competitivos fracasan al asignar de manera eficiente bienes y servicios cuando estos últimos tienen la características de bienes públicos, cuando nos encontramos presente el problema de las externalidades y cuando se tienen problemas de información. Por lo anterior, se conduce a asignaciones ineficientes en el sentido de Pareto que ocasionan pérdidas en el bienestar económico de forma generalizada para toda la sociedad. Este problema se presenta con mucha frecuencia en las asignaciones de recursos naturales como el agua. La clara consecuencia final de ineficiencia derivada de asignaciones de uso inadecuados se manifiesta en una notable degradación y agotamiento de los recursos naturales y ambientales.

Es conveniente explicitar que la economía ambiental no debe entenderse como la aplicación de las ciencias económicas en general a la problemática ambiental. Se refiere a la interpretación de una escuela del pensamiento económico, la neoclásica, que incorporó el medio ambiente como objeto de estudio². De tal forma que la economía ambiental se basa en los mismos conceptos y preceptos básicos de la teoría neoclásica, la cual concentra el análisis sobre la escasez, y donde los bienes son valorados según su abundancia-rareza, de tal modo que cuando se trata de bienes escasos, éstos pueden ser considerados bienes económicos, mientras que cuando son bienes abundantes, pueden no ser considerados según Chang (2005).

Es bien sabido que los recursos naturales y ambientales al ser utilizados por los individuos en actividades de consumo como actividades de producción el objetivo final es generar bienestar para la sociedad. Debido a esto, los individuos pueden considerar el hecho de asignar un valor económico a estos bienes (caso del agua) y por consiguiente poder tratarlos como activos económicos según su rareza y disposición. Sin embargo, al fracasar los mercados en la asignación eficiente de

²Para Hartley-Ballesteros (2018), La economía ambiental utiliza el instrumental analítico de la Economía Neoclásica que al aplicarlo al medio ambiente, plantea soluciones desde la perspectiva de la eficiencia administrativa de los recursos.

estos tipos de recursos como se planteó anteriormente, lo más común es que la sociedad los subvalore. Todos los argumentos anteriores justifican la creación de una rama de las ciencias económicas que trata de estudiar estos problemas y de brindar soluciones para estos, la “Economía Ambiental” (Corona, 2012).

De manera más exacta, según Kolstad (2000), la “Economía ambiental estudia los impactos de la economía sobre el medio ambiente, la importancia del medio ambiente para la economía y la manera apropiada de regular la actividad económica con miras a alcanzar un equilibrio entre las metas de conservación ambiental, de crecimiento económico y otras metas sociales, como por ejemplo, una gestión eficiente del agua”.

El medio ambiente viene adquiriendo un estatus de bien económico dado que muchos recursos naturales, como el caso del agua y algunas fuentes de energía no renovables, comienzan notablemente a escasear y presentan horizontes de agotamiento previsibles (Chang, 2005). También, estos bienes naturales, aun cuando sean insumos indispensables de actividades productivas, presentan características de bienes no económicos, pues en algunos de los casos no poseen precio o no es normalizado, ni dueño. Por este motivo, el medio ambiente se encuentra externo al mercado. La forma de incorporar el medio ambiente al mercado se daría mediante el procedimiento de internalización de esas externalidades, al adjudicarles un precio. Por lo anterior, la economía ambiental se ocupa principalmente de otorgar un valor monetario a los recursos que provienen del medio ambiente. Según Chang (2005), una vez internalizado, el medio ambiente pasa a tener las características de un bien económico, es decir, pasa a tener precio y/o derecho de propiedad.

Este mecanismo, la internalización de una externalidad ambiental, responde a las tradicionales recomendaciones de los economistas, en que la solución del mercado de competencia perfecta al problema de la asignación de los recursos, conduce al óptimo paretiano (Hartley-Ballesteros, 2018). Y según este autor el sistema funciona de manera muy sencilla: en un mercado competitivo se encuentran productores, trabajadores, consumidores, que actuando racionalmente o sea tratando de

maximizar su bienestar, generan señales que se reflejan en el sistema de precios. Estos precios finalmente van a determinar la asignación de los recursos escasos existentes a la sociedad o un sector productivo. De modo que en relación con el ambiente o siendo precisos en casos como el agua, lo que se propone es asignar precios que a través del sistema de mercado se distribuyan de manera eficiente.

Como se ha planteado anteriormente, la economía ambiental refiere a como la economía neoclásica incorporó el medio ambiente en su objeto de análisis. Los economistas neoclásicos no encuentran contradicción entre la lógica del desarrollo económico y la lógica ambiental. Lo que se percibe es una disminución de los recursos que en el pasado eran abundantes, una escasez. Se observa también una degradación y desperdicio de los recursos ambientales, cuyo motivo es la ausencia de reglas claras que apliquen sobre el aprovechamiento del medio ambiente, sin menospreciar la idea, que de atribuir un verdadero valor a los bienes y servicios ambientales, estos pueden ser gestionados y aprovechados como cualquier otro recurso económico.

Considerando la lógica económica anterior, la economía ambiental según Chang (2005), trata de crear las condiciones para que se pueda establecer el intercambio mercantil allí donde no ocurre, a través de lo que llama “internalizar las externalidades”.

Existen dos teorías que ayudan a internalizar las externalidades ambientales en la economía. La teoría pigouviana y la teoría coasiana. Según lo plantea Chang (2015), la teoría pigouviana de Arthur Cecil Pigou, fue la primera que en 1920 definía el concepto de internalización de las externalidades. Retomada en la economía ambiental hasta 1970 para responder a las externalidades ambientales. Para Pigou, la presencia del Estado en la economía es indispensable para regular y disciplinar los efectos externos negativos que quedan fuera del mercado.

La tradición o corriente pigouviana preconiza la intervención del Estado sobre el valor de los bienes, en forma de impuesto en relación con el valor del costo social

infringido a la colectividad. En la materia ambiental se conoce como el principio de “contaminador-pagador” (Polluter’s Pays Principle) (Chang, 2005).

Por su parte, la teoría coasiana mantiene una concepción más liberal que el modelo de Pigou. En la representación del mercado de Coase se acentúa el derecho de propiedad privada, mientras que en Pigou la del precio.

Coase reduce la cuestión del costo social y lo traslada a una negociación privada entre las partes en disputa, el contaminador y el contaminado (proveedor-usuario), para Coase, las partes pueden ser un individuo o una pluralidad. Lo que realmente importa según Coase es tener claro el derecho de propiedad sobre el recurso en cuestión; finalmente, siempre se llega a una solución negociada. Para Coase, el criterio pertinente para resolver una externalidad es la maximización del producto colectivo. Así, lo que importa es la eficiencia de la solución, no la justicia. Según Chang (2005), la corriente coasiana sugiere la privatización extrema del medio ambiente dando paso a una “ecología de mercado”.

En México, la Ley de Aguas Nacionales de 1992 permite que los títulos de concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas puedan transmitirse en forma definitiva total o parcial según lo estipula el artículo 33, y de acuerdo con el artículo 35, *“esta transmisión de los derechos para explotar, usar o aprovechar aguas del subsuelo en zonas de veda o reglamentadas, se convendrá conjuntamente con la transmisión de la propiedad de los terrenos respectivos y en todo caso será en forma definitiva, total o parcial”* (Diario Oficial de la Federación, 2023).

Esta reasignación del recurso hídrico ha permitido convertirla en un bien económico al dotarla de valor y poder como parte de un proceso productivo y económico, en el cual se reinventa y revaloriza a la naturaleza, en este caso al agua, en clave instrumental, pues al demandarse para producir otros bienes, se torna eficiente, racional y rentable (Salgado, 2022).

Garret Hardin, en relación a los planteamientos de Coase, publicó en 1968 “The Tragedy of the Commons” (“La tragedia de los bienes públicos o comunes”). Para

Hardin, los recursos que son públicos para todos en realidad no pertenecen a nadie. Por eso los bienes públicos o comunes son una “tragedia”, porque nadie los cuida.

2.2.2 La teoría general de sistemas y el principio de Sinergia en el estudio de la gestión del agua

La incapacidad de la ciencia para resolver los problemas derivados de la crisis socio ambiental que vive la humanidad permite adelantar la hipótesis de que la tradición intelectual de occidente, la manera tradicional de entender el mundo, ha llegado a su límite. Nos encontramos ante la necesidad de una revolución científica que nos proporcione los instrumentos para comprender los nuevos enigmas que plantea el mundo actual (Peniche y Romero, 2018).

El surgimiento del pensamiento sistémico surge en el ser humano para entender los sistemas complejos, partiendo de cambiar su pensamiento cotidiano, a un pensamiento sistémico, un pensamiento que tiene en cuenta el todo y sus partes, así mismo las interacciones y conexiones entre estas. El objetivo del pensamiento sistémico radica en la capacidad de comprender las relaciones entre los diversos elementos o componentes de un sistema.

El enfoque de sistemas más que una teoría es una forma de “pensar el mundo”; más que una metodología es la articulación de una serie de conceptos que permiten acercarse a la realidad para interpretarla o cambiarla (Latorre, 1996).

La teoría general de los sistemas es producto de los trabajos de Ludwig Von Bertalanffy en 1951. Esta corriente no pretende resolver problemas o solucionar prácticas, sino producir teorías y formulaciones conceptuales que puedan aplicarse a los problemas en la realidad. Bertalanffy en 1951 propone la teoría general de los sistemas como una opción para la integración de las ciencias naturales y sociales y al mismo tiempo un instrumento básico para la formación y preparación de científicos (Bertalanffy, 2006). Con esta propuesta se da un giro a la ciencia tradicional donde los científicos trabajaban y explicaban los fenómenos sociales, naturales, físicos o biológicos de manera aislada, para dar paso a un estudio donde se busque una relación entre ellos y de manera inter y transdisciplinaria, como lo

plantea esta teoría, una explicación sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad.

La Teoría General de Sistemas es un marco conceptual que permite realizar un análisis de los problemas complejos mediante el estudio de las relaciones o interacción de los elementos que lo conforman. La clave consiste en identificar los puntos de inflexión que permiten la intervención y así propiciar la transformación de su comportamiento. La importancia del acercamiento sistémico consiste en que permite abordar la complejidad de los problemas de la actualidad (Peniche y Romero, 2018).

Los objetivos originales de la Teoría General de Sistemas según Bertalanffy en 1951 son los siguientes:

- Impulsar el desarrollo de una terminología general que permita describir las características, funciones y comportamientos sistémicos.
- Desarrollar un conjunto de leyes aplicables a todos estos comportamientos.
- Promover una formalización (matemática) de estas leyes.

Sobre estas bases se constituyó en 1954 la Sociedad para la Investigación de Sistemas Generales (Society for General Systems Research), cuyos objetivos de tal Sociedad fueron los siguientes:

- a) Investigar el isomorfismo de conceptos, leyes y modelos en varios campos y facilitar las transferencias entre aquellos.
- b) Promoción y desarrollo de modelos teóricos en campos que carecen de ellos.
- c) Reducir la duplicación de los esfuerzos teóricos.
- d) Promover la unidad de la ciencia a través de principios conceptuales y metodológicos unificadores.

Si bien el campo de aplicación de la Teoría General de Sistemas no reconoce limitaciones, al usarla en el análisis de fenómenos humanos, sociales y culturales, se advierte que sus bases están en el área de los sistemas naturales (organismos) y en el de los sistemas artificiales (máquinas) (Arnold & Osorio, 1998).

Siguiendo la hipótesis de Kuhn (2013), el nuevo paradigma debe partir de un enfoque que permita entender el estado emergente de las cosas, en el espacio social, económico y ecológico, y en el contexto actual de deterioro acelerado y permanente de los sistemas de soporte de vida.

El surgimiento de la Teoría general de Sistemas como paradigma a mediados del siglo pasado, se deriva de un incremento de problemas que han surgido en las condiciones de la modernidad y que no podían ser explicados mediante las teorías imperantes. Con este descubrimiento teórico-metodológico, dio inicio una nueva y refrescante era en la ciencia: la concepción sistémica de la realidad (Peniche y Romero, 2018).

La teoría General de Sistemas en la época moderna tomó fuerza gracias a los trabajos de Niklas Luhmann. En la década de 1970, Luhmann empieza a explorar las distintas esferas sociales (la religión, la política, la ciencia, la economía) antes de proponer la estructura teórica y epistemológica de su análisis en su obra “Soziale Systeme” en 1984 (Urteaga, 2010).

El enfoque de la complejidad, cuyo control se sitúa en el fundamento de la lógica evolutiva de los sistemas, es abordado por Luhmann en la década de 1990 y sin desaparecer completamente es sustituido progresivamente por las ideas de observación y de distinción, que le permiten reformular la teoría de los sistemas como una teoría que contempla los demás sistemas como observadores (Morín, 2004).

Luhmann hace una distinción de tres tipos de sistemas comparables y comparados: el sistema vivo, el sistema psíquico y el sistema social. En especial la idea de sistema social se aplica igualmente, aunque sea de manera marginal, a otras entidades de la sociedad: a las organizaciones, por una parte, y a sus interacciones, por otra (Urteaga, 2010).

El sistema social según Luhmann se divide en subsistemas: el sistema político, el sistema económico, el sistema científico, el sistema religioso, el sistema artístico, el sistema mediático, el sistema educativo y el sistema familiar al que añade

posteriormente el sistema jurídico (Luhmann, 1999). La aparición de los subsistemas se corresponde con la necesidad de la sociedad de alcanzar un nivel superior de complejidad: “se puede describir una sociedad como funcionalmente diferenciada a partir del momento en el cual forma sus principales subsistemas en la perspectiva de problemas específicos que deberán ser resueltos en el marco de cada sistema funcional” (Luhmann, 1999).

La evolución de la teoría general de los sistemas es mejor comprendida a través del concepto de autopoiesis de Humberto Maturana. La autopoiesis describe el principio de organización de los seres vivos, y al extender su ámbito a la ciencia en general, se constituye como un poderoso instrumento para la comunicación interdisciplinaria, la construcción de los puentes epistémicos entre las ciencias duras y las sociales (Boden, 2000). Es decir, describe la capacidad de los sistemas de auto transformarse mediante la evolución de las relaciones de sus elementos y en relación con el entorno.

El concepto de autopoiesis en la teoría de sistemas propuesta por Luhmann, implica primeramente que las fronteras del sistema son producto de sus propias operaciones. Por lo tanto, un sistema autopoietico es un proceso que se construye y disuelve continuamente, de tal modo que resulte imposible descomponerlo en elementos simples (Urteaga, 2010). Además, Urteaga plantea que el sistema se enfrenta constantemente al problema de su perpetuación, es decir, al hecho de comprender cómo una operación sucederá a otra.

Así pues, la reproducción autopoietica del sistema no debe entenderse como la repetición idéntica de lo mismo sino la creación constante de nuevos elementos que están vinculados a los precedentes (Urteaga, 2010). Para Luhmann, la autopoiesis es la razón por la cual un sistema necesita desarrollar cada una de sus estructuras. Una estructura permite al sistema asegurar y regular la reproducción constante de sus elementos.

En este sentido, de acuerdo a la interpretación de Morín, es importante señalar que los problemas complejos, como el del agua, no son exclusivamente ambientales o físicos sino socioculturales, es decir, solo pueden comprenderse y explicarse

estudiando el contexto sociocultural en que surgen y se van configurando multidimensionalmente (político, ético, económico, técnico, social). De esta forma, el problema del agua, es percibido y reconocido culturalmente por la sociedad de diferentes formas, y en consecuencia, las soluciones planteadas también son diferentes. Así, el proceso en el que el conflicto y la negociación se da entre los intereses y valores de los diferentes actores juega un papel destacado. Dicho de otra manera, se trata de entender que el problema del agua está siendo percibido y reconocido por diferentes actores y de maneras diferentes (Arrojo & Naredo, 1997).

En la actualidad se pueden distinguir, al menos, tres marcos diferentes para comprender y abordar la situación del agua de acuerdo a Arrojo y Naredo (1997):

Embalses y trasvases. En este marco, el problema del agua se reduce a que llueve poco y a que la demanda de agua, relacionada con la cantidad, se obtiene extrapolando los consumos. La solución consiste en construir más embalses y trasvases de las zonas húmedas a las secas.

Gestión de la demanda. Este enfoque presta mayor atención al tema de la calidad y rompe con los supuestos del marco anterior; es decir, gestiona la demanda de agua, no solo considerando los precios y tarifas, sino mediante un cambio en el comportamiento de los usuarios y gestores del agua sean estos privados o públicos. Se parte del reconocimiento de que existe un gran potencial para el ahorro de agua y una distribución y uso más eficiente de los recursos.

Gestión integrada del agua y del territorio. Este marco va más lejos que los anteriores y cuestiona la existencia de una gestión del agua por separado, al sugerir que no hay gestión del agua sin gestión del territorio, al entenderse que al apropiarnos del agua nos apropiamos del ecosistema. Así pues, se estudia el funcionamiento de cada cuenca hidrográfica, de la ocupación del territorio y de los estilos de vida de la población compatibles con las cuencas. La aplicación de este marco exige un reconocimiento del agua como un activo ecosocial que satisface todo un conjunto de funciones ambientales y sociales dependientes de un contexto cultural (Arrojo y Naredo, 1997).

La Teoría General de los Sistemas (TGS) nos ayuda a explicar el tema del agua a nivel de microcuencas, ya que para comprender los fenómenos la TGS propone verlos desde la inter y transdisciplina, además, se deben considerar a dichos fenómenos como un sistema que se conforma con partes relacionadas (Guerrero, De Keizer y Córdoba, 2006). Las personas, el agua y el medio natural son parte de un mismo sistema. Esto hace necesario que en la implementación de cualquier política relativa al uso y gestión del agua se incorpore una visión integral y sistémica.

A Bertalanffy (1989) le interesaba el trabajo unificado de las ciencias y sostenía que en las metas de la teoría general de los sistemas hay una tendencia general hacia la integración en las ciencias naturales y sociales, así como que tal integración parece girar en torno a una teoría general de los sistemas.

Relacionando la Teoría General de Sistemas al estudio de la gestión del agua, puede haber un mejor entendimiento a través del trabajo inter y transdisciplinario y analizándolos como una totalidad (Sistema del agua) conformada por partes interrelacionadas, los subsistemas.

El desarrollo sinérgico se refiere al ciclo armonioso, consistente y virtuoso de varios elementos dentro del sistema, un proceso evolutivo general de simple a complejo, de bajo nivel a alto nivel y de desorden a orden (Zhao et al., 2022). La teoría Sinérgica tiene como propósito estudiar la evolución de un sistema complejo desde el desorden hasta el orden. La sinergia es la coordinación y sincronización entre los diversos subsistemas dentro del sistema.

El principio de sinergia, hoy conocido como teoría sinérgica o sinérgica, es producto de los trabajos de Hermann Haken en la década de 1970 y concluyeron en la publicación del libro "The Science of Structure: Synergetics", que explica la formación y auto organización de patrones y estructuras en sistemas abiertos que consta de muchos subsistemas que interactúan de forma no lineal (Haken, 1977).

Esta teoría abre un nuevo campo en la investigación interdisciplinaria que ha logrado sorprendentemente revelar rasgos comunes entre disciplinas aparentemente divergentes. La sinérgica analiza y compara el comportamiento de sistemas

compuestos de muchos subsistemas. Aunque los subsistemas sean diferentes, los mecanismos por los que una estructura antigua es sustituida por otra nueva son los mismos; Las variables colectivas, también llamadas parámetros de orden, se vuelven inestables, crecen y, por competencia o cooperación entre sí, establecen una nueva estructura. Los subsistemas tienen que obedecer a las configuraciones de los parámetros de orden que han sobrevivido a la competición o cooperación. Una vez resuelto un problema en un campo, su solución puede trasladarse a otro y de esta manera un sistema puede servir de ordenador análogo para otro diferente (Haken, 1977).

Zhu et al. (2015), mencionan que la teoría sinérgica estudia cómo evoluciona el sistema a través de la cooperación de los subsistemas. Esta teoría considera que un sistema puede dividirse en varios subsistemas y que existen intercambios de materia, energía e información entre los elementos de un sistema, entre los elementos y los subsistemas, entre los subsistemas, entre el sistema y el entorno; además, estos intercambios generan competencia y cooperación entre los subsistemas. En palabras de estos autores, la competencia contribuye a los desequilibrios en el desarrollo de cada subsistema, cuyo resultado son mayores desequilibrios y diferencias en el sistema, y promueve la evolución del sistema. La cooperación representa la coordinación y colaboración de los subsistemas y domina la evolución global del sistema. La cooperación conduce a una evolución ordenada del sistema y la falta de cooperación conduce al desorden.

En la teoría sinérgica tiene gran relevancia el concepto de parámetro de orden, tal como lo planteaba Haken (1977), que es el parámetro de descripción del grado de orden al interior del sistema. Este parámetro no solo rige el cambio de otros parámetros y el comportamiento de los subsistemas, sino que también domina la evolución de todo el sistema (Zhu et al., 2015). En el caso de un sistema de gestión hídrica, para que el sistema evolucione hacia el orden depende de la cooperación de los parámetros de orden de los distintos subsistemas. Como se ha mencionado, una buena cooperación conduce a una evolución ordenada del sistema y la falta de cooperación conduce al desorden. El grado de cooperación entre los parámetros de

orden puede expresarse como grado de orden, el cual representa el carácter de orden y organización.

Para Zhu et al. (2015), existen 2 principios para identificar los parámetros de orden en el caso de un sistema de recursos hídricos. El primero es el principio científico, según el cual la selección de los parámetros de orden debe basarse en la teoría sinérgica y en el mecanismo de evolución de un sistema de recursos hídricos, y estos parámetros a su vez deben regir otros parámetros y dominar el proceso evolutivo; el segundo es el principio práctico, según el cual la selección de los parámetros de orden debe tener en cuenta la capacidad operativa y la disponibilidad de datos en el sistema.

En el caso de un sistema de gestión de recursos hídricos, se entiende que es un sistema que intercambia materia, energía e información con el medio ambiente. Desde la perspectiva de la teoría sinérgica, y considerando atributos tecnológicos, económicos y sociales principalmente, se puede considerar que dicho sistema comprende en su interior diferentes subsistemas, los cuales compiten o cooperan intensamente por el agua. La competencia crea el poder para alejar el sistema del equilibrio; la cooperación entre los subsistemas hace que todo el sistema evolucione hacia una estructura más ordenada que se adapte mejor a los cambios externos.

2.3 Paradigmas de la gestión del agua en la modernidad

En este apartado abordaremos como la gestión del agua ha sido interpretada e implementada por los actores estatales, mercantiles y comunitarios para orientar el uso y aprovechamiento del agua en función de las condiciones de disponibilidad del recurso, considerando que en los últimos años ha merecido mayor atención debido a los ciclos de escases e importancia para las actividades productivas principalmente.

Existen diferentes concepciones detrás del concepto de gestión del agua, tal como se planteó inicialmente; una de las más precisas según Pahl-Wostl (2015), refiere a desarrollar e implementar medidas que mantengan el estado de los recursos hídricos en un límite deseable.

El problema de la gestión del agua es el resultado de las condiciones de la modernidad, un problema que requiere de la conciliación entre el desarrollo económico, social y ambiental que requiere de la articulación de múltiples visiones y conocimientos de diferentes disciplinas que interpretan los cambios de origen natural y que afectan fuertemente a los procesos económicos y sociales. Con fundamento en la revisión bibliográfica, la gestión del agua carece de teorías concretas que den respuesta al problema de su gestión, y como se planteó inicialmente debe ser entendido como un nuevo paradigma siguiendo la hipótesis de Kuhn (2013), el cual permita entender el estado emergente de las cosas en el espacio social, económico y ambiental, y en el contexto actual de deterioro acelerado y permanente de los sistemas de vida; una concepción sistema de la realidad.

Según Pahl-Wostl (2007), un paradigma de gestión del agua debe ser entendido como: *“un conjunto de suposiciones básicas acerca de la naturaleza de los sistemas a ser gestionados, los objetivos de gestión y las formas en las cuales dichos objetivos pueden ser alcanzados”*. El paradigma es compartido por una comunidad epistemológica de actores involucrados y preocupados en el tema de la gestión del agua. Dada la definición anterior, el concepto de paradigma puede ser empleado para caracterizar la forma de pensar de una comunidad epistémica; es decir, la forma en cómo los investigadores, gestores del agua, los tomadores de decisiones, la sociedad civil organizada, los usuarios, etc., consideran que la gestión del agua debe ser codificada en las prácticas, las leyes, las tecnologías, el discurso, etc., (Pahl-Wostl, 2007). Es decir, el paradigma puede manifestarse en la infraestructura técnica, en la de planeación del programa de entregas y conducción, en las regulaciones, en las prácticas ingenieriles, entre otras. Asimismo, este también influye en las preferencias de elección de soluciones que la comunidad epistémica toma ante las problemáticas de gestión a las que se enfrenta (Pahl-Wostl, 2017).

La Concientización internacional sobre la importancia del agua y su gestión está creciendo. Inicialmente, el enfoque era típicamente sub sectorial, en relación con

abastecimiento de agua, saneamiento, riego y energía (hidroelectricidad). A menudo hubo una falta de coordinación entre los sectores y se ignoraron las necesidades del medio ambiente.

Recientemente, existe un creciente consenso e interés acerca de la necesidad de enfoques integrados que atiendan el problema del agua en su conjunto; Savenije & Van der Zaag, (2008) identifican 3 etapas de consenso respecto a la importancia y concepción del agua:

De 1960 a 1970 “Desarrollo de los Recursos Hídricos”.

- Paradigma dominante: el agua es un recurso natural que debe ser explotado.
- El enfoque de ingeniería de “predecir y proveer”.
- Énfasis en el desarrollo de nueva infraestructura (presas).
- Proyectos individuales.

De 1980 a 1990 como “Gestión de los Recursos Hídricos”.

- Reconocimiento de que el agua puede ser “sobreexplotada”.
- Contabilización de las limitaciones ecológicas y sociales
- Planificación regional y nacional en lugar de un enfoque de proyecto conjunto.
- La toma de decisiones responde a la cantidad de recursos demandados.

De 1990 al presente “Gestión Integrada de los Recursos Hídricos”.

- La gestión integrada del agua en una política general para el desarrollo socioeconómico, planificación física y geográfica y protección del medio ambiente.
- Participación pública
- La sostenibilidad como base.

El primer paradigma en relación a la gestión del agua, “Desarrollo de los Recursos Hídricos”, también conocido paradigma tradicional de gestión del agua, estuvo centrado en dar solución a problemas muy bien definidos, que requerían un tratamiento urgente dado los procesos de crecimiento demográfico acelerado y de intensificación de la productividad industrial y agrícola que caracterizaron a los siglos XIX y XX (Pahl-Wostl, 2007). Señala este autor que, las soluciones tecnológicas (presas, acueductos, embalses, plantas de tratamiento, sistemas de riego, etc.) fueron desarrolladas como una respuesta eficiente y exitosa a corto plazo para resolver los problemas que, directa o indirectamente, estaban asociados con el desarrollo y bienestar de los crecientes centros urbanos de población (salud e higiene, control de inundaciones, producción de alimentos, contaminación del agua, abasto creciente de agua y energía electricidad para cubrir la cada vez mayor demanda urbana e industrial) (Pahl-Wostl, 2007). Esta infraestructura de gran escala también tuvo un papel fundamental en la protección, así como en la expansión de la capacidad de afrontamiento de los crecientes centros urbanos ante la variabilidad y los extremos climáticos; por ejemplo, los acueductos para el trasvase de agua, las presas y otros mecanismos de almacenamiento artificial de agua han sido utilizados como mecanismos para hacer factible y expandir la disponibilidad hídrica durante periodos de sequías o en época de estiaje (Pahl-Wostl, 2007).

El modelo actual de consumo del agua elimina la perspectiva sesgada que protege los intereses de una minoría y propugna por una perspectiva que represente a la colectividad o los sectores involucrados. Con la gestión integral de los recursos hídricos, el enfoque cambia de la explotación del recurso (modelo consumista), a la conservación y uso más racional de este (manejo integrado) (Martínez y Villalejo, 2018). La GIRH ha sido promovida intensamente como un principio más efectivo y eficiente para gestionar el agua.

La GIRH busca una integración de las actividades de gestión del agua dentro de una aproximación más holística, que considerara los aspectos ambientales, sociales, económicos, tecnológicos y culturales encaminados a la sustentabilidad

de los recursos hídricos, lo que también implica la incorporación de una visión a largo plazo en su gestión (Bauer, 2004). Lo anterior, significó científicamente una integración de las ciencias sociales y naturales a través de una aproximación interdisciplinaria.

El modelo de la GIRH se basa en una visión ecosistémica. Tiene por objetivo lograr la protección y conservación del agua y los ecosistemas asociados al ciclo hidrológico, los cuales en conjunto constituyen los recursos hídricos (Garcés, 2011). Según este modelo, la cuenca hidrológica, como un ecosistema, es considerada la unidad territorial más adecuada para la planeación y gestión integrada de los recursos hídricos (Dourojeanni et al., 2002).

Una de las críticas más comunes hacia la GIRH ha sido que en su definición es integral y clara en su conceptualización, pero resulta operativamente compleja. Autores como Jeffrey y Gearey (2006) plantean que la falta de desarrollo de una descripción general de estrategia de acción y técnicas para su implementación se debió a que en la década de los 90's la necesidad de adoptar la GIRH como el modelo de gestión preferente en numerosos países con diferentes contextos biofísicos, sociales, económicos, políticos, culturales, y niveles de desarrollo socioeconómico, incluido México, hizo considerablemente difícil su adaptación a estos diversos y muchas veces contrastantes contextos locales (Jeffrey & Gearey, 2006). En consecuencia, más allá de consolidarse como una metodología o lineamientos específicos de política, la GIRH derivó en una serie de "principios fundamentales"; La GWP tomo como base para los principios de la GIRH aquellos formulados durante la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente en Dublín (1992), conocidos comúnmente como principios de Dublín (Global Water Partnership, 2000).

A nivel internacional, el modelo de la Gestión Integrada de los recursos Hídricos puede entenderse como un ordenamiento cuyo objetivo es "integrar" las actividades de gestión del agua que durante las décadas previas habían sido separadas en áreas temáticas o sectores altamente especializados; que a su vez resultaba la

creación de agencias o aparatos burocráticos que actuaban de manera fragmentada y descoordinada, y cuya utilidad empezó a ser cuestionada en relación con su habilidad para poder enfrentar los retos y necesidades impuestos por el siglo XXI (Pahl-Wostl et al., 2006).

Savenije & Van der Zaag (2008), señalan que durante las 3 últimas décadas, el tema del agua ha recibido más atención en reuniones internacionales. En 1996, Se establece la Asociación y Consejo Mundial del Agua; en 1997 se lleva a cabo el Primer Foro Mundial del Agua en Marruecos; en el año 2000 se realiza el Segundo Foro Mundial del Agua en La Haya; en el año 2000 la Organización de las Naciones Unidas realiza en Nueva York la Cumbre del Milenio; en 2003 el Tercer Foro Mundial del Agua se realiza en Kioto; en 2006 se lleva a cabo en Ciudad de México el Cuarto Foro Mundial del Agua; el Noveno Foro Mundial del Agua se desarrolló en Dakar, Senegal en 2022.

Savenije & Van der Zaag (2008), hacen un breve repaso sobre la importancia del agua y su papel en las reuniones internacionales y Organismos que promueven su aprovechamiento y conservación en las últimas décadas. En la Conferencia de la ONU de 1977 en Mar del Plata, se seguía haciendo hincapié en el abastecimiento y el saneamiento del agua, como los problemas en torno a este recurso. El Informe Brundtland de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo en 1987 solo menciona la palabra “agua” en relación con la contaminación y el suministro de agua. Fue durante las conferencias preparatorias de la Conferencia de la ONU sobre Medio Ambiente y Desarrollo (UNCED) en Río de Janeiro en 1992, que los conceptos que subyacen a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos fue ampliamente debatida.

Los Principios de Dublín representan un aporte importante a la Conferencia de Río de Janeiro en 1992 que culminó con la adopción del Capítulo 18 de Agua Dulce de la Agenda 21. Después de Dublín, con el llamado a la gestión integrada del recurso hídrico, la fragmentación del sector del agua en el mercado y en particular en las organizaciones de las Naciones Unidas es más evidente.

Uno de los problemas más aquejantes de la comunidad internacional es que no existe una organización dentro de la Organización de las Naciones Unidas que se ocupe en específico de los recursos hídricos. El interés del agua está fragmentado en muchas organizaciones diferentes, que no dedican sus esfuerzos al tema del agua en específico. Se han dado pasos importantes en el proceso hacia una mayor coordinación con la formación de la Asociación Mundial del Agua (GWP) y el Consejo Mundial del Agua (WWC), quienes tienen como objetivo coordinar la implementación de los principios de la GIRH y prácticas en todo el mundo. Aunque sin duda hay cierta superposición entre las dos organizaciones, el WWC se concentra en la sensibilización a nivel político, mientras que GWP tiene como objetivo la implementación de conceptos de GIRH en el nivel operativo. Juntos han sido el motor fuerza detrás del segundo y tercer Foro Mundial del Agua en La Haya y en Kioto (Savenije & Van der Zaag, 2008).

2.4 Antecedentes en el estudio de la gestión y uso del agua

Tratándose de agua, existe diversidad de investigaciones que tocan el tema, cada una desde el enfoque al que el sector se refiera. Cada uno de los usos del agua permite segmentar el interés del investigador para dar respuesta a las problemáticas que aquejan a este sector.

En el caso de las investigaciones sobre gestión y uso del agua en agricultura, cada día guardan mayor relevancia dado el incesante y preocupante momento que atraviesa este sector debido a una baja disponibilidad de agua como consecuencia de las variaciones climatológicas.

Wang y Blackmore (2009), mencionan que existe una amenaza inminente del cambio climático como ha sido planteado por los expertos del Panel intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC) la cual ha provocado una disminución en las precipitaciones presentando ciclos de escases de agua en algunas partes del mundo, así como la creciente demanda de una población mundial que sigue creciendo sin respetar los patrones de consumo de agua dulce haciendo insostenible el suministro en un futuro. En reconocimiento a la anterior problemática,

la necesidad de un uso racional del agua y la mejora de las prácticas actuales de gestión, con el fin de perpetuar el desarrollo sostenible de la sociedad humana y medio ambiente, se han convertido en tareas prioritarias.

Respecto a la problemática que plantea esta investigación, una gestión y uso del agua eficiente son determinantes para mejorar el nivel de producción ante ciclos de baja distribución de agua. Los modelos econométricos propician un análisis de estas problemáticas a través del procesamiento de datos mediante modelos que la teoría económica ha establecido y ayudan a responder el comportamiento de los cambios en las variables analizadas.

Haciendo una revisión de la literatura, el artículo de Andrade, Guerrero y Colín (2020), hace un breve análisis de lo que esta tesis plantea en su metodología. *“Análisis econométrico de la disponibilidad de agua para producción agrícola de riego en México (2003-2015)”*, tiene como objetivo analizar el comportamiento de la cantidad de agua requerida para generar diversidad de productos agrícolas. Hace una descripción de las características generales del país respecto a los cambios en las variaciones climáticas, la distribución del agua en el país, los usos consuntivos, la CONAGUA y sus atribuciones como organismo administrador del agua en el país; considera para el análisis a los Organismos de Cuenca (OC), como la unidad de estudio y hace una descripción de su distribución a nivel nacional.

Se plantea un modelo econométrico de regresión lineal con datos panel de efectos fijos para identificar la heterogeneidad entre OC en los años 2003 al 2015. El objetivo de este modelo es encontrar los cambios en el nivel de producción como consecuencia en las disminuciones o aumentos de agua.

Los resultados del análisis arrojan los promedios de producción agrícola y consumo de agua para cada organismo de cuenca en el periodo de estudio. Se observó que el OC Pacífico Norte es quien requirió mayor cantidad de recurso hídrico y mayor producción. Es importante destacar que tanto en este artículo como en esta tesis se plantea la importancia que tiene el OC Pacífico Norte y en especial los DR del Estado de Sinaloa dado su nivel de producción y dependencia al agua superficial.

Un dato importante que debe destacarse es que se consideran los datos agregados de toda la producción agrícola, indistintamente del producto, así mismo que todos los productos requieren la misma cantidad de agua para su producción, considerando si es maíz de consumo interno o aguacate para exportación (Andrade et al., 2020). A diferencia, esta tesis considera solo el cultivo de maíz en los 7 distritos de riego de mayor relevancia en Sinaloa, pudiendo encontrar mejores resultados y una precisión del modelo; lo anterior, considerando la vocación agrícola del Estado y los niveles de producción y dependencia al agua superficial.

Como resultados se encontraron que en los 13 organismos de cuenca es poca la producción para el volumen de agua que utilizan. Se concluye que el país se comporta de manera muy diversa y no se tiene un uso racional del agua.

A diferencia de este artículo, esta tesis plantea un análisis más integral y preciso que considere al maíz como único cultivo en el análisis así como los DR como unidades de estudio que claramente se define su vocación agrícola a través de los datos de las fuentes oficiales, haciendo el análisis más certero. También, se consideran los ciclos de baja distribución de agua para conocer el impacto en la producción, pudiendo asociar los cambios con mejoras en la gestión y uso del agua por parte de los usuarios y administradores.

Una investigación más es la de Ibararán et al. (2017), titulada *“Determinantes socioeconómicos de la calidad del agua superficial en México”*, cuyo objetivo es identificar la influencia de variables socioeconómicas en la calidad del agua superficial en las regiones hidrológicas administrativas, y proponer acciones para mejorarla.

En la primera parte se explica sobre el estado y calidad de las cuencas superficiales en México utilizando la regionalización determinada por CONAGUA; también se hace un análisis de los datos obtenidos de las estadísticas del agua de 2003 a 2012, que permita observar las tendencias de la contaminación. En la segunda parte se identifica la relación entre los indicadores de calidad de agua para las 13 Regiones Hidrológico Administrativas y diversas variables socioeconómicas, para identificar como contribuyen a la contaminación.

Siguiendo la forma metodológica del artículo anterior, el modelo de regresión lineal latente planteado aquí, considera los determinantes de la calidad del agua para las 13 RHA de 2003 a 2012. Considera un modelo de datos panel que permita analizar las 13 RHA y encontrar las diferencias con relación a las variables.

Dentro de los resultados, las estimaciones muestran que entre más elevada sea la actividad productiva de las regiones (medida por el PIB per cápita), la densidad poblacional y el caudal tratado, mayor será la probabilidad de que la calidad del agua sea más baja (Ibarrarán et al., 2017).

Como se observa en este análisis, la estructura que se plantea corresponde en un nivel macro al análisis que esta tesis propone a través del estudio de los distritos de riego en Sinaloa.

En *“Análisis econométrico sobre el consumo de agua subterránea por el sector agropecuario en Guanajuato, México”*, de Guzman et al. (2010), hace un análisis similar al que se plantea en esta tesis, solo que considera el agua subterránea y no superficial a razón de la dependencia que guarda la zona geográfica donde se realiza el estudio.

Inicialmente realiza una descripción de los usos del agua clasificados por la CONAGUA y la competencia que existe entre los sectores productivos por el uso del agua en México. Menciona como se distribuye la administración del agua en México y algunas características del territorio que la hacen vulnerable ante una deficiencia del abastecimiento de agua como es la densidad poblacional y el crecimiento constante de la actividad agropecuaria.

Como resultado del modelo de ecuaciones simultáneas se concluye en los resultados que en el sector pecuario el consumo de agua es más insensible a cambios en el precio o tarifas en comparación con la agricultura de riego y su excesiva demanda, por ende, políticas de administración sobre el consumo deberán considerar aumentos en los precios del agua en este sector (Guzman et al., 2010).

Como parte de las conclusiones y en congruencia con la importancia que tiene para esta tesis el estudio del agua en la agricultura, se concluye que el consumo de agua

resultó ser menos inelástico en la agricultura de riego, de ahí que la implementación de políticas de administración de la demanda de agua pueden considerar incrementos en las cuotas por prestación del servicio de riego y de la energía eléctrica para uso agrícola. De esta forma, el concluir que un incremento en las tarifas pudiera mejorar un uso racional del agua subterránea en Guanajuato pudiera servir como propuesta de las conclusiones que esta tesis debiera plantear ante un escenario de escasas y deficiente gestión y uso del agua en los distritos de riego de Sinaloa.

Con relación a investigaciones relacionadas con la gestión del agua para uso agrícola, sobresale la de Ortega (2013), titulada *“Factores socioculturales que limitan la gestión y el uso sustentable del agua: el caso del Distrito de Riego 005 Delicias, Chihuahua”*, en la cual plantea la problemática relacionada con la escasez de agua y su repercusión en el desarrollo económico y social del norte de México. El DR 005 Delicias, Chihuahua, a nivel nacional ha sido el centro de diversos estudios y debates dadas las sequías recurrentes en la zona y la necesidad de hacer un uso racional y sustentable del agua.

Ortega (2013), menciona que desde el 2002 se puso en marcha el Programa de Modernización y Tecnificación de los Distritos de Riego de la Cuenca del río Conchos, mediante el cual se han hecho inversiones millonarias en infraestructura y equipo para aumentar la eficiencia en el uso del agua de riego. Sin embargo, el autor sostiene que las acciones estructurales técnicas y económicas son insuficientes en la práctica para lograr la sustentabilidad del recurso, dado que en la gestión del agua en cualquier cuenca o sistema hidráulico intervienen diversos factores sociales y culturales que desempeñan un papel determinante y que no deberían ser ignorados (Ortega, 2013).

Los principales factores socioculturales que limitan la gestión y el uso sustentable del agua en el distrito de riego 005 Delicias según Ortega (2013), son: a) El incumplimiento de los planes de riego previamente establecidos, b) La falta de políticas adecuadas para la gestión del agua en condiciones de escasez o sequía, c) Las percepciones erróneas de los usuarios respecto al riego y el valor del agua,

y d) La falta de capacitación y sensibilización de los usuarios y técnicos que operan los sistemas de riego.

Se menciona que al término de la construcción de las obras de modernización de la infraestructura y de la tecnificación del riego, la eficiencia global del distrito de riego 005 Delicias, Chihuahua, se incrementará de 33 a 55% según las estimaciones. En relación a lo que plantea la CONAGUA (2015), que argumenta que 37.5 litros se pierden en la red de conducción desde la presa a la administración de los distritos de riego, y sería esta parte la que el Programa de Modernización y Tecnificación de los Distritos de Riego de la Cuenca del río Conchos la que estuviera atacando y al no considerar los factores socioculturales se olvidan de las pérdidas de agua en parcela (27.5 litros por cada 100) debido a las malas prácticas operativas y de seguimiento.

Esta investigación concluye que el uso eficiente y sustentable del agua en los DR depende en gran medida de factores sociales, culturales y educativos, los cuales pueden ser integrados dentro de un concepto mayor denominado cultura del agua³. Una acción importante que se considera para el fomento de la cultura del agua y que es un criterio considerado en la certificación de proyectos, es concientizar a los usuarios de los distritos de riego sobre el uso responsable del agua para riego, así como proteger el ambiente y la infraestructura, entre otros (Ortega, 2013). Es necesario crear una nueva actitud frente al uso del agua.

Como conclusión final, el autor menciona que es imprescindible establecer una estrategia adecuada de capacitación y una campaña constante de sensibilización orientada a fomentar una nueva cultura del agua entre los usuarios, los técnicos y las autoridades del distrito de riego, utilizando metodologías participativas que les

³ El conjunto de creencias, conductas y estrategias comunitarias para el uso del agua que puede “ser leído” en las normas que la comunidad se da o acepta tener, en el tipo de relación entre las organizaciones sociales que tienen el poder y en los procesos políticos que se concretan en relación con el aprovechamiento, uso y protección del agua (Ortega, 2013).

permitan aportar sus conocimientos e ideas en la solución del problema sin que se sientan agredidos ni en sus derechos ni en sus opiniones (Ortega, 2013).

Una investigación más que pone gran atención al tema de la gestión del agua es la de Peinado et al. (2012), titulada *“Programas de conservación de obras en distritos de riego como alternativa sustentable en la administración del agua de uso agrícola”*, la cual describe que son insuficientes los esfuerzos en la gestión del agua si solo consideramos las inversiones en infraestructura, pues a pesar de esto se sigue desperdiciando un 49 % del agua que se destina a la agricultura.

El análisis se hace para el distrito de riego 063 ubicado en el norte del Estado de Sinaloa, el cual presenta también problemas de escases por las bajas precipitaciones en la zona de captación.

Para Peinado et al. (2012), la participación del usuario-agricultor en la administración de la infraestructura hidráulica es importante, puesto que además de aportar recursos económicos para la conservación de la red hidráulica, participa en las diversas actividades de construcción y reparación de la infraestructura hidráulica, en la planeación y diseño de estrategias para la conservación del agua. Los autores comentan que esta situación requiere de un nivel tecnológico e intelectual apropiado, algo que los productores locales carecen y por lo cual se complica el manejo y la gestión adecuada del recurso.

Un aspecto importante en la gestión del agua es la necesidad de crear los mecanismos de suministros eficientes del recurso, con el fin de contrarrestar el problema de la escasez, la falta de control en el manejo del agua, la falta de infraestructura con alta tecnología para su conservación y los fuertes desperdicios que existen (Peinado et al., 2012).

La parte importante que se debe destacar de esta investigación es la que analiza las facultades que fueron otorgadas a los módulos de riego con la reforma al artículo 27 de la Constitución Política de México y la Ley de las Aguas Nacionales en 1989, donde el gobierno mexicano, a través de la CONAGUA, inició la transferencia de las actividades de operación, conservación, ingeniería de riego y drenaje, así como la

administración de los Distritos de Riego a los usuarios, quienes, organizados en asociaciones civiles, se hacen cargo de la infraestructura secundaria e inter parcelaria correspondiente a su respectivo módulo (Peinado et al., 2012).

En relación al tema de gestión y uso del agua en la agricultura, es de gran relevancia entender el contenido de estos artículos, pues de manera precisa hacen evidente que los temas de gestión y uso de agua no solo deben ser considerados desde la parte técnica y económica pues hay elementos a los cuales se atribuyen los bajos niveles de agua disponible para consumo agrícola en los módulos y distritos de riego; el tema de distribución del agua en la red de conducción, el personal operativo en canales y el usuario en parcela son claves para entender el bajo nivel de eficiencia en el uso del agua.

Capítulo 3. Consideraciones operativas de un Distrito de Riego

Antes de 1992, el gobierno federal a través de los Distritos de Riego (DR) y otras dependencias era el encargado del control y distribución del agua a los usuarios.. Con la creación de la CONAGUA en 1989 y la promulgación de la Ley de Aguas Nacionales en 1992, dio inicio un programa de transferencia de los DR a los usuarios a través de los módulos de riego, apoyada de la rehabilitación parcial de la infraestructura (Pedroza e Hinojosa, 2022). No obstante, en la actualidad persisten rezagos en la infraestructura física en módulos de riego, debido principalmente a que cuando se entregó la infraestructura esta se encontraba en muy mal estado, en muchos casos los canales ni siquiera estaban revestidos (Ramírez, Ibarra y Leos, 2021).

Esta transferencia de los DR a los Módulos de Riego generó, entre muchas e importantes implicaciones, figuras jurídicas apropiadas al sector agrícola, como las asociaciones civiles de usuarios y las sociedades de responsabilidad limitada. A diciembre de 2016, se había transferido a los usuarios más del 99% de la superficie total de los DR (Pedroza e Hinojosa, 2022).

3.1 Distrito y Modulo de Riego

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (2023), los DR son proyectos de irrigación desarrollados por el Gobierno Federal desde 1926, año de creación de la Comisión Nacional de Irrigación, e incluyen diversas obras, tales como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros.

Un Distrito de Riego (DR), de acuerdo a Pedroza e Hinojosa (2013), puede definirse como:

“Conjunto de canales de riego, una o más fuentes comunes de abastecimiento de agua y las áreas de cultivo, relativamente compactas, que cuenta con decreto de creación por parte del poder ejecutivo federal, con un título de concesión otorgado a los usuarios organizados en asociaciones civiles para uso de las aguas y la administración, operación y conservación

de la infraestructura hidroagrícola federal. Puede concluirse que un DR es mucho más que una colección de agua, infraestructura y superficie, ya que implica además aspectos legales, administrativos, socioeconómicos y productivos muy importantes e interdependientes entre sí”.

En menor proporción al DR, se encuentra el módulo de riego, los cuales pueden entenderse como micropartes de los DR y el resultado de la transferencia o entrega de la administración a los usuarios. Los módulos, para fines de cantidad disponible de agua, desembalse de las presas y otros asuntos, cuentan con representación en el comité hidráulico del distrito de riego (Palerm, 2020).

Los DR cuentan con la supervisión y apoyo permanente del gobierno federal a través de la CONAGUA. Contrariamente a un DR, los módulos de riego cuentan con autonomía, lo que les permite mantenerse al margen de iniciativas que promuevan una mayor eficiencia del recurso hídrico y la infraestructura hidroagrícola, incluyendo la parte operativa y social.

A nivel nacional, México cuenta con 13 Regiones Hidrológico Administrativas, una de ellas a la cual pertenece Sinaloa es la Región III Pacífico Norte con sede en Culiacán, Sinaloa, y que integra 9 Distritos de Riego (8 en Sinaloa y 1 el Estado de Durango). Son 11 las presas que abastecen de agua a estos DR, actualmente se encuentran en construcción 2 presas en el sur del Estado (Picachos y Santa María), las cuales vendrán a detonar según los cálculos de CONAGUA en 3 veces más la cantidad de hectáreas cultivadas; Con los distritos de riego de las presas Picachos y Santa María se podrá dar riego a 45 mil hectáreas más de cultivos, de las cuales 22 mil 500 son de Mazatlán y Concordia, 11 mil de Escuinapa y 11 mil 500 de El Rosario (CONAGUA, 2020).

En el caso del sistema hidroagrícola sinaloense, este se encuentra distribuido en 49 módulos de riego, organizados en ocho distritos que amparan una superficie otorgada de siembra de 753 mil 023 hectáreas, donde laboran 81, 409 productores, entre ejidatarios y pequeños propietarios (CONAGUA, 2020).

3.2 Operación de Distritos de Riego: Distribución y manejo del agua

La operación de un distrito de riego refiere al conjunto de actividades y aspectos realizados directamente en la infraestructura hidráulica con objeto de planear, programar, distribuir y entregar el agua de riego a los productores en forma eficiente y oportuna (Pedroza e Hinojosa, 2013). En las actividades y operación de las áreas de riego interviene un gran número de personas y recursos, cuya cantidad depende en la mayoría de los casos de la magnitud, número de usuarios y complejidad de la zona de riego.

Según el IMTA (2014), la planeación agropecuaria es por año agrícola, la cual empieza el primero de octubre de cada año y finaliza el 30 de septiembre siguiente. A continuación se detallan en la figura 1, el plan de riego y las principales fases llevadas a cabo por los distritos de riego para entregar el agua a los módulos de riego desde la fuente de abastecimiento:

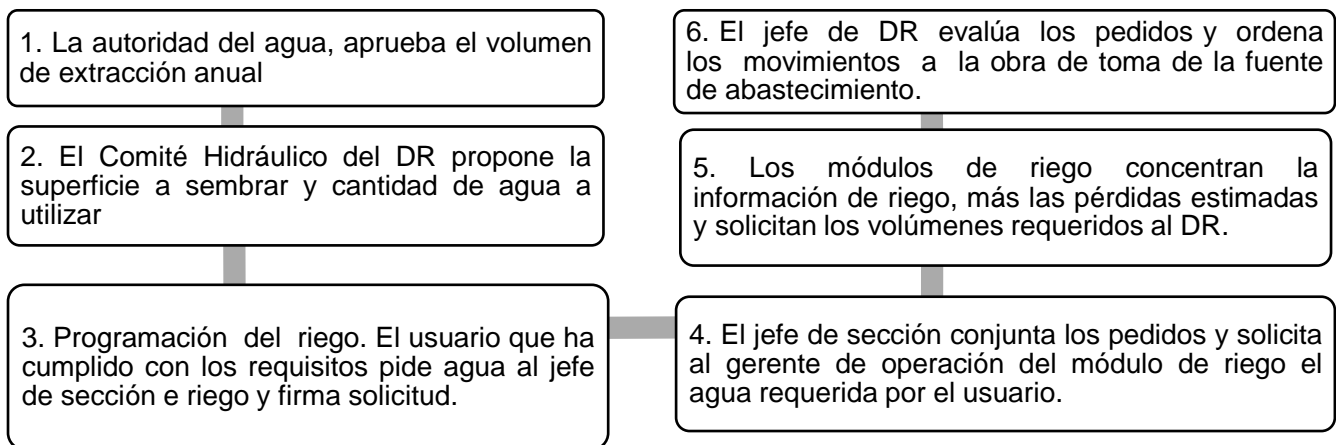


Figura 1. Planeación del riego en un Distrito de Riego. Fuente: Adaptada de Pedroza e Hinojosa (2013), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

La distribución del agua de riego es diferente para cada DR, las distancias de las fuentes de abastecimiento a las parcelas y la complejidad de la infraestructura determinan el tiempo que dura la programación del riego.

La operación de un DR además de su condición técnica básica, debe considerar los efectos socioeconómicos y productivos que conlleva la entrega del agua eficientemente. Según lo mencionan Pedroza e Hinojosa (2013), en su libro *“Manejo y distribución del agua en distritos de riego”*, se deben aplicar correctamente los siguientes tres objetivos al entregar el agua:

1. No entregar agua en exceso. Entregar agua en exceso reduce la superficie factible de regar.
2. Entregar volúmenes de agua suficientes. El agua entregada sea la adecuada para abastecer los usos consuntivos, para que el cultivo tienda a rendir su potencial productivo.
3. Entregar el agua con la debida anticipación (oportunidad). Si no se entrega en el momento que el cultivo lo requiere, el impacto en la producción puede ser devastador (Pedroza e Hinojosa, 2013).

3.2.1 Pérdidas de agua en el riego

Las pérdidas de agua en el riego dependen básicamente de la evaporación, infiltración y operación (Pedroza e Hinojosa, 2013). Las pérdidas ocurren en varias etapas, durante el almacenamiento, transporte, distribución y aplicación de la lámina de riego en las parcelas. Las pérdidas de agua en el riego considera las pérdidas en todos los canales y conducciones hasta su aplicación en el campo, y las pérdidas en el uso del agua toma en cuenta la pérdida de agua posterior a la aplicación de la lámina de riego Pedroza (2020).

Palacios (1996) clasifica las pérdidas en intrínsecas y operacionales. Las intrínsecas se refieren a las pérdidas por evaporación, infiltración y fugas, es decir, aquellas que se deben a condiciones climáticas, textura de suelos, longitud y estado de conservación de la red de canales y que son relativamente constantes para cada DR; las pérdidas operacionales, se generan por un mal manejo del caudal, experiencia del personal y supervisión realizada. Las pérdidas por evaporación y evapotranspiración no son de consideración ya que poco se puede hacer para

evitarlas. Las pérdidas por infiltración se pueden disminuir con revestimientos de canales, lo que significan grandes inversiones.

Las pérdidas por operación son aceptables si son menores del 5%, esta pérdida es mayor prácticamente en todos los casos. Las pérdidas por operación en un DR se generan de cuatro maneras: a) Mala programación, b) Cambios de riegos, c) Maniobras en los canales, y d) Pérdidas administrativas (Pedroza e Hinojosa, 2013).

3.3 Infraestructura Hidroagrícola en México y Sinaloa

El país cuenta con más de 5 mil presas y bordos como parte de su infraestructura hidráulica para proporcionar el agua necesaria a los diferentes usuarios en las 6.5 millones de hectáreas con riego, y en las 2.8 millones de hectáreas con temporal tecnificado. La capacidad de almacenamiento de agua en las presas del país es de aproximadamente 150 mil hm³. Para el año 2019, 180 presas representaban el 75% de la capacidad de almacenamiento (CONAGUA, 2019).

En México, el área con infraestructura que permite el riego es de aproximadamente 6.5 millones de hectáreas, de las cuales 3.3 millones corresponden a 86 Distritos de Riego (DR) administrados por la CONAGUA y los 3.2 millones restantes a más de 40 mil unidades de riego (UR) personales (CONAGUA, 2023).

En México, el Sistema Hidroagrícola Sinaloense (SHISIN) es el más importante a nivel nacional en cuanto a número de distritos de riego, superficie de riego, presas y capacidad de almacenamiento. Las 11 presas de almacenamiento que lo conforman tienen una capacidad de conservación de 15,609.5 millones de metros cúbicos (Mm³), para regar 8 distritos de riego que cuentan con una superficie de riego de 780,905 hectáreas (ha) y 84,344 usuarios distribuidos en 49 asociaciones/módulos de riego (CIMMYT, 2021; ANUR, 2023). Es importante mencionar que la presa Picachos en Mazatlán y Santa María en el Rosario, están programadas para que inicien operaciones en el 2024 sumando una cantidad mayor de hectáreas, usuarios y asociaciones de riego.

Desde que inició la construcción de los DR, han sido diseñados de acuerdo con la tecnología prevaeciente para la aplicación del agua por gravedad en las parcelas. En muchos de los casos sólo se construyeron las redes de canales y drenes principales, quedando las obras parcelarias a cargo de los usuarios. Esto, sumado al deterioro de la infraestructura, acumulado en varias décadas por la insuficiencia de recursos económicos destinados a su conservación y mejoramiento, propiciaron una baja en la eficiencia global en el manejo del agua (CONAGUA, 2019).

3.4 Caracterización del área de estudio

El territorio Sinaloense cuenta con cerca de 650 kilómetros de zona costera; de la superficie total del Estado, aproximadamente el 23% (1, 388,000 has) tiene las condiciones para ser aprovechada en la agricultura. El resto de la superficie, 45% (2, 598,000 has) se considera de agostadero, 16% (936,000 has) recursos forestales y el 16% restante (937,000 has) son terrenos incultos, suelos pedregosos, caminos y zonas urbanas (Zambrano, 2022). El Estado de Sinaloa cuenta con 18 municipios, 57 mil km² que representan el 2.9% del territorio nacional. De acuerdo al último censo de población y vivienda de INEGI 2020, la entidad tiene 3, 026,943 habitantes, 2.5% del total del país.

Sinaloa es una de las entidades agrícolas más importantes del país; la agricultura se concentra en la llanura costera, donde las precipitaciones son insuficientes para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Debido a ello, la mayoría de las tierras cuenta con infraestructura para riego tales como: caña de azúcar, maíz, frijol, papa, cártamo, soya, sin ignorar la importancia que representa la producción hortícola en el Estado. Hacia el pie de la sierra, los terrenos sostienen agricultura de temporal, con la cual se produce, principalmente, sorgo, maíz, garbanzo, pastos, cártamo y mango, entre otros (INEGI, 2017).

De acuerdo a los datos del Censo Agropecuario 2022 que dio a conocer el Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI), Sinaloa cuenta con 2.8 millones de hectáreas como uso o vocación agropecuaria, siendo esta cifra de 85 mil 806 unidades de producción (INEGI, 2023). Un millón 268 mil hectáreas se destinan a

la siembra de granos y hortalizas en el Estado, de las cuales 74.8% es de riego por gravedad principalmente y el 25.2% es de temporal.

En la figura 2, se aprecia que los municipios de Sinaloa con mayor superficie sembrada al 2017 son Culiacán, Guasave, Ahome, Sinaloa y Navolato, por mayor superficie sembrada respectivamente.

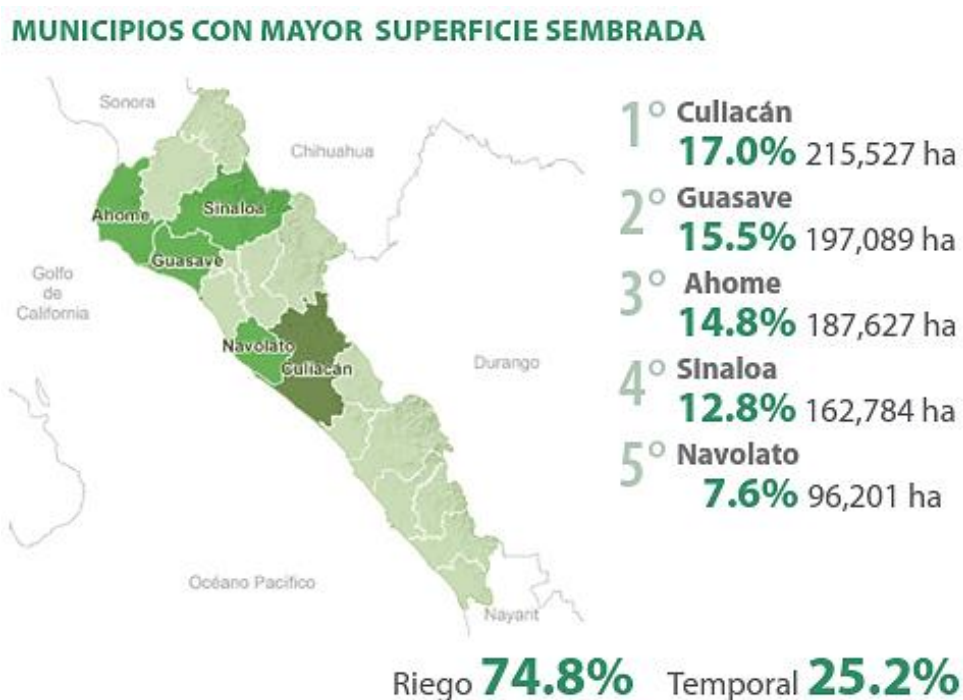


Figura 2. Municipios con mayor superficie sembrada en Sinaloa. Fuente: Tomada de Infografía Agroalimentaria 2017, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera ((SIAP), 2017).

Capítulo 4. Consideraciones Metodológicas de la Investigación

A través del método científico, se han establecido relaciones entre hechos para enunciar leyes y teorías que expliquen y fundamenten el funcionamiento del mundo. El método para la obtención del conocimiento denominado científico es un procedimiento riguroso, de orden lógico, cuyo propósito es demostrar el valor de verdad de ciertos enunciados (De la torre y Navarro, 1988).

Según el nivel de medición y análisis de la información la presente investigación es de tipo cuantitativa. Las bases de datos oficiales de CONAGUA muestran eficientemente los volúmenes de producción, superficie cultivada, volúmenes distribuidos, entre otros datos relevantes sobre el cultivo de maíz y la distribución de agua en distritos de riego.

Este estudio es de tipo explicativo. A través del análisis estadístico y econométrico se encontrará la relación e influencia de la variable volumen de agua distribuido en relación con el volumen de producción de maíz, de tal manera que permita conocer el nivel de gestión y uso del agua en ciclos de baja distribución en DR de Sinaloa.

Es conveniente hacer una breve descripción de los elementos metodológicos que serán considerados en este capítulo y a partir de ellos iniciar con el procesamiento de los datos. Las variables utilizadas en la presente investigación serán tratadas fundamentalmente a través de un modelo econométrico con datos panel de efectos fijos. En este apartado se presentan las características más relevantes de estos dos procedimientos con tal de preparar las condiciones para que los análisis que se presentarán en el capítulo de resultados resulten de más fácil interpretación.

4.1 Econometría y Modelo Econométrico

La Econometría utiliza la teoría económica, economía matemática e inferencia estadística como fundamentos analíticos, y los datos como fuente de información, para la verificación y solución de problemas económicos mediante modelos (Portillo, 2006).

La econometría crea modelos que poseen validez estadística, teórica y probabilística, los cuales permiten comprobar los supuestos teóricos-matemáticos de un modelo basado en una realidad así como realizar proyecciones sobre eventos futuros y por lo tanto proporciona información adecuada para la toma de decisiones (Portillo, 2006).

Para Portillo (2006), un modelo econométrico es un conjunto de ecuaciones concebidas para proporcionar una explicación cuantitativa del comportamiento de las variables económicas. Es el modelo económico incorporando la perturbación aleatoria a las formas funcionales propuestas; las perturbaciones aleatorias son términos que se introducen en la ecuación para tener en cuenta la no exactitud del modelo. Representan el efecto de otras variables explicativas no incluidas en el modelo, los valores estimados de estas perturbaciones se denominan residuos (Novales, 2010).

En los modelos econométricos es relevante identificar las variables que influyen en el modelo, una formulación de la relación funcional entre las variables, una definición temporal y/o espacial concreta y un término que permita razonar en términos probabilísticos y no exactos.

Ahora bien, los modelos econométricos se basan en una metodología específica que comprende las etapas de especificación, estimación, validación y evaluación de la capacidad predictiva del modelo. Se trata de un proceso cíclico, en el que de la validación puede surgir la necesidad de volver a las etapas anteriores para corregir o redefinir el modelo. A continuación se muestra en la figura 3, las fases esenciales para realizar una aplicación econométrica como se plantea en la metodología de esta tesis.

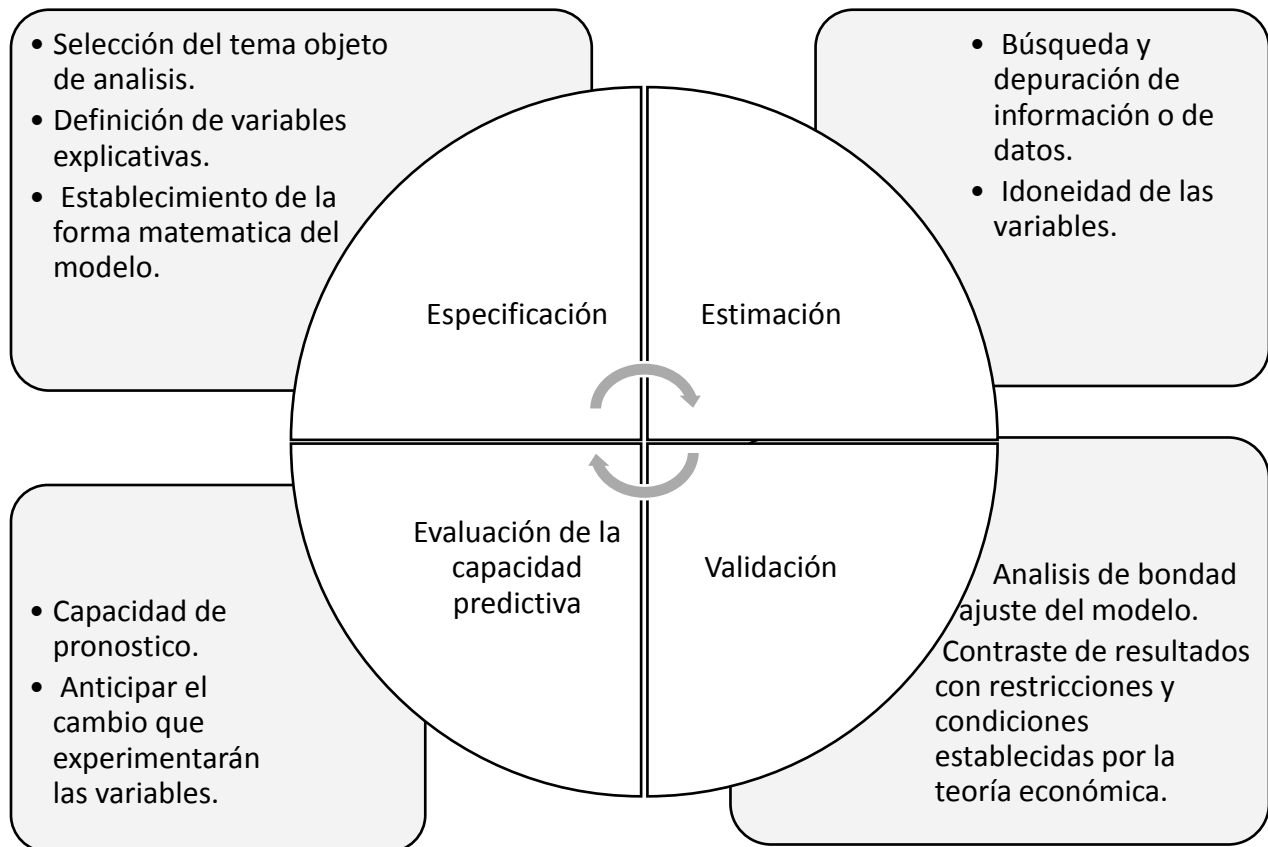


Figura 3. Etapas del modelo econométrico. Fuente: Adaptada con información de Gujarati y Porter (2009).

Según lo plantea Wooldridge (2013), en su libro *“Introductory Econometrics: A Modern Approach”*, en los estudios econométricos es importante distinguir la naturaleza de los datos pues en dependencia de ella utilizamos para su tratamiento unas técnicas u otras. De esta forma, el autor hace la siguiente clasificación de los datos para el tratamiento econométrico:

- ❖ Una serie de tiempo: Esta incorpora información de variables o unidades de estudio individuales, durante un período de tiempo usualmente igual, en este caso cada periodo de tiempo constituye un elemento poblacional o muestral (dimensión temporal).

- ❖ Corte transversal: no incorpora el aspecto temporal, representa el análisis de información para las unidades individuales de estudio, en un momento determinado de tiempo (dimensión estructural).
- ❖ Datos de Panel: incluyen una muestra de individuos (agentes económicos, empresas, bancos, ciudades, países, etc.) para un período determinado de tiempo, combinando de esta forma los dos tipos de datos que hemos mencionado con anterioridad (dimensión temporal y dimensión estructural) (Wooldridge, 2013).

4.2 Modelo de regresión lineal y Teorema de Gauss Markov

El objeto básico de la Econometría consiste en especificar y estimar un modelo de relación entre las variables económicas relativas a una determinada cuestión conceptual.

Vamos a limitarnos aquí al estudio de modelos de relación o modelos de regresión lineales, es decir, del tipo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k \quad \text{Ecuación 1.}$$

En el que resulta evidente que los parámetros transmiten directamente efectos inducidos por los valores de las variables X_i sobre la variable Y , que se pretende explicar.

La estimación de tales relaciones se efectúa a partir de información muestral acerca de los valores tomados por Y ; X_1 ; X_2 ;...; X_k , y trata de cuantificar la magnitud de la dependencia entre ellas (Novales, 2010).

El Teorema de Gauss-Márkov es un conjunto de supuestos que debe cumplir un estimador MCO (Mínimo Cuadrados Ordinarios) para que se considere ELIO (Estimador lineal insesgado óptimo); es decir, cuando se cumplen los supuestos para el modelo de regresión de dos variables, los parámetros estimados por los Mínimos Cuadrados Ordinarios (B_0^* y B_1^*), son los mejores estimadores lineales insesgados, en el sentido de que ellos tienen la mínima varianza (Pérez, 2006).

Los 5 Supuestos de Gauss Markov, son los siguientes:

1. No linealidad y errores de especificación. Es un supuesto bastante flexible. Permite usar funciones de las variables de interés.
2. Exogeneidad y regresores estocásticos. Los regresores no están correlacionados con el término de error.
3. No multicolinealidad. En la muestra ninguna de las variables explicativas es constante. No existen relaciones lineales exactas entre variables explicativas. No excluye cierta correlación (no perfecta) entre las variables. Según Gauss y Márkov, cuando un modelo tiene multicolinealidad exacta suele ser por un error del analista. Las variables deben ser linealmente independientes.
4. Homocedasticidad. La varianza del error, y por tanto de Y, es independiente de los valores de las explicativas y, además, la varianza del error constante.
5. No autocorrelación. El término del error o perturbación en un período no debe estar correlacionado con el término del error en el periodo anterior.

El Teorema de Gauss-Markov garantiza que el estimador de MCO tiene la menor varianza entre todos los estimadores lineales e insesgados, luego es eficiente.

De acuerdo con los supuestos de Gauss-Markov los estimadores de Mínimos Cuadrados Ordinarios son los mejores estimadores lineales insesgados, siempre y cuando los errores u_{it} sean independientes entre sí y se distribuyan idénticamente con varianza constante σ^2 .

Con frecuencia las anteriores condiciones son violadas en los modelos de datos panel: la independencia se viola cuando los errores de diferentes unidades estas correlacionadas (correlación contemporánea), o cuando los errores dentro de cada unidad se correlacionan temporalmente (correlación serial), o ambas. La distribución de los errores se viola cuando la varianza no es constante (heterocedasticidad) (Forero, 2017).

4.3 Modelo de datos panel

La importancia de utilización de un modelo de datos panel que incluye una muestra de agentes sociales (Distritos de riego en este caso) para un periodo determinado de tiempo (1999-2022), es que considera la dimensión temporal y estructural de los agentes (Stock y Watson, 2007).

El modelo más sencillo de datos de panel es una extensión del modelo clásico de regresión lineal, formulada de la siguiente manera:

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \dots + \beta_k x_{kit} + u_{it} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

X = Variable explicativa

μ = Residuo

i = 1, 2, 3, 4, ... N agentes (DR)

t = 1, 2, 3, ... T para cada momento de tiempo (año)

Tratándose de una muestra de NxT observaciones. Generalmente las variables observadas se identifican para cada agente económico, i, y momento del tiempo, t: Y_{it} .

Los modelos de regresión de datos panel pueden ser clasificados de la siguiente manera según Gujarati y Porter (2009):

- De coeficientes constantes,
- De efectos fijos, y
- De efectos aleatorios.

A continuación se hace una breve descripción de los tres modelos de regresión con datos panel, tomando en consideración los planteamientos de Pérez (2006).

4.3.1 Modelo de regresión de datos panel de coeficientes constantes

En este modelo se asume que los coeficientes son los mismos para cada uno de los agentes sociales en la muestra.

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde

$k = 1, \dots, K$ variables explicativas de interés,

$i = 1, \dots, N$ unidades sociales, y

$t = 1, \dots, T$ observaciones en el tiempo.

Los parámetros a estimar son K , y estos K parámetros se consideran iguales o constantes para todos los agentes económicos de la muestra y también para cada período de tiempo.

4.3.2 Modelo de regresión de datos panel de efectos fijos

A diferencia del modelo anterior, este tipo de modelo investiga si los coeficientes, aunque siendo los mismos para los agentes sociales en un periodo dado, son diferentes para periodos de tiempo diferentes.

El modelo de efectos fijos parte del supuesto de que los coeficientes varían dependiendo del agente social o del momento en el tiempo. De manera que el modelo de efectos fijos permite investigar la variación intertemporal o transversal por medio de distintos términos independientes (Perez, 2006).

El modelo de regresión es el siguiente:

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

Y_{it} es una función lineal de K variables explicativas ($i = 1, \dots, N$ unidades sociales y $t = 1, \dots, T$ observaciones en el tiempo), pero el término de error tiene la siguiente estructura:

$$u_{it} = \alpha_i + \phi_t + \varepsilon_{it}$$

Donde:

$$\alpha_i = \sum_{i=1}^{N-1} \alpha_i d_i \quad y \quad \phi_t = \sum_{t=1}^{T-1} \phi_t t_t$$

De tal manera que con α_i se incorporan una serie de N-1 variables dicotómicas en el modelo de regresión con el fin de controlar por el efecto de cada uno de los agentes sociales en la variable dependiente. Con ϕ_t se introduce una serie de T-1 variables dicotómicas para controlar el efecto del tiempo.

El error U_{it} ya no es aleatorio. Tiene un componente individual fijo que es invariable a través del tiempo α_i pero varía de unos agentes sociales a otros. También tiene un componente temporal fijo que es invariable a través de los individuos ϕ_t , (pero que varía a través del tiempo). Finalmente, U_{it} tiene un componente ε_{it} que es aleatorio. ε_{it} es el residuo con las propiedades de proceso ruido blanco que se asumen en la estimación por MCO (sigue una distribución normal con media cero, no correlacionado consigo mismo, homocedástico, esto es, varianza constante, y no correlacionado con las variables x, y ahora también, no correlacionado con los efectos temporales o transversales). El modelo de regresión a estimar es el siguiente:

$$y_{it} = \beta_0 + \alpha_1 d_1 + \alpha_2 d_2 + \dots + \alpha_N d_N + \phi_1 t_1 + \phi_2 t_2 + \dots + \phi_T t_T + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it} \varepsilon_{it}$$

O de forma resumida:

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{N-1} \alpha_i d_i + \sum_{t=1}^{T-1} \phi_t t_t + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it} + \varepsilon_{it}$$

Ecuación 5.

En el modelo de efectos fijos se permite que los efectos individuales α_i y ϕ_t puedan estar correlacionados con las variables explicativas X_{it} , pero para que los estimadores por MCO sean consistentes se requiere la exogeneidad estricta de X_{it} y ε_{it} .

4.3.3 Modelo de regresión de datos panel de efectos aleatorios

A diferencia del modelo de efectos fijos, en el modelo de efectos aleatorios los coeficientes individuales α_i y los coeficientes temporales ϕ_t , ya no son efectos fijos en el término independiente de la regresión, sino que se dejan que varíen de manera aleatoria en el tiempo y a través de los agentes sociales.

El modelo de efectos aleatorios más utilizado es el modelo con varios componentes de error (en inglés, *error components model*). Utiliza un error aleatorio en el tiempo, un error aleatorio en las unidades sociales, y un error que depende del tiempo y de las unidades sociales pero que es aleatorio, con el fin de proporcionar estimaciones eficientes y no sesgadas de los coeficientes de regresión. Para el caso más general de datos de panel, este modelo de regresión a estimar es el siguiente:

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it}$$

Ecuación 6.

Donde y_{it} es una función lineal de K variables explicativas, y el término de error tiene la siguiente estructura

$$u_{it} = \alpha_i + \phi_t + \varepsilon_{it}$$

Donde $i = 1, \dots, N$ unidades sociales y $t = 1, \dots, T$ observaciones en el tiempo.

El principal objetivo de aplicar y estudiar datos de panel, es capturar heterogeneidad no observable entre los agentes económicos como en el tiempo, dado que esta heterogeneidad no se puede detectar con los estudios de series de tiempo ni con los de corte transversal (Andrade, Guerrero y Colín, 2020). Al combinar las series de tiempo con las observaciones transversales, los datos en el panel proporcionan una mayor cantidad de datos informativos, más variabilidad, menos colinealidad entre variables, más grados de libertad y una mayor eficiencia.

Por la naturaleza de los datos y los resultados que pretenden alcanzarse en esta tesis, es conveniente utilizar un modelo de datos panel de efectos fijos de sección cruzada. Mediante el efecto fijo en la sección cruzada se diferenciara el nivel de gestión y uso del agua de un distrito de riego a otro.

4.4 Aplicación del Modelo Económico

4.4.1 Recolección de la información y descripción de variables

La recolección de los datos para esta investigación se basó en las fuentes de datos oficiales de la Comisión Nacional del Agua, específicamente de las Estadísticas agrícolas de los distritos de riego que este organismo gubernamental administra desde 1998 al 2022.

La información requerida para este análisis consideró los siguientes materiales:

1. Estadísticas agrícolas por distrito de riego de 1998 a 2022
2. Estadísticas agrícolas por cultivo de 1998 a 2022
3. Superficies regadas y volúmenes distribuidos por distrito de riego 1998 – 2022

A través del Sistema Nacional de Información del agua (SINA 3.0), como software estadístico y geográfico de acceso libre de CONAGUA, se hizo uso de los mapas, gráficas y tabulados para corroborar la información de las estadísticas agrícolas y obtener datos de disponibilidad de agua en presas para los ciclos 1999 al 2022 que plantea este análisis.

Las variables a considerar en esta investigación y en el modelo econométrico son el volumen de producción de maíz, la cual deberá entenderse como la cantidad de toneladas de maíz producidas en un ciclo agrícola por cada uno de los DR, la cual representa nuestra variable dependiente; el volumen de agua distribuido, entendida como la cantidad de agua entregada por el DR a los usuarios en un ciclo agrícola y medida en miles de metros cúbicos, representa nuestra variable explicativa.

Para el proceso de análisis de los resultados se cruzará la información de la base de datos con los resultados del modelo. En esta etapa, es valioso para la tesis el uso de los datos de la variable conocida como lámina bruta de la base de datos que utilizan los DR de la CONAGUA en México la cual es definida como el espesor de una capa de agua, expresado en centímetros, que ocuparía un cierto volumen de agua extraído de la fuente de abastecimiento en una superficie dada de riego (SEMARNAT, 2018). Como su nombre lo indica, considera el total de agua que fue entregado al usuario en parcelas considerando las pérdidas.

Para realizar análisis más precisos respecto al aprovechamiento del agua en parcelas para el cultivo de maíz en Sinaloa, Sifuentes et al. (2012) de Fundación Produce Sinaloa y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, han considerado que la necesidad de riego o lámina neta de agua para maíz es de 45 cm (4500 m³/ha) para años normales.

En este contexto, lo que se pretende encontrar mediante el uso de estas variables, es el comportamiento de la producción de maíz en relación con el volumen de agua distribuido, y en los diferentes ciclos identificar los cambios en la gestión y uso del agua en los DR; es decir, encontrar una mejoría en la producción de maíz como respuesta a los procesos de operación y distribución de agua ante un escenario de escases apoyado de los datos complementarios de la base de datos como superficie sembrada, rendimiento y lámina bruta de riego.

Para el análisis estadístico se utilizó Microsoft Excel para la limpieza y organización de los datos. Se utilizó Eviews 12 como software econométrico para crear un modelo de regresión lineal con datos panel de efectos fijos de sección cruzada, considerando a los DR como agentes sociales con datos que van de 1999 al 2022.

Para comprender mejor el comportamiento de la variabilidad de los cambios en las precipitaciones, y que posteriormente es observado en el volumen de agua distribuido por los distritos de riego, se muestra en la figura 4 y 5 el comportamiento del agua distribuida en Sinaloa de 1999 al 2022, así como la producción de maíz.

Se observa en la gráfica la cantidad de agua distribuida en los distritos de riego en los ciclos agrícolas 1999 al 2022. En los distritos de riego con mayor actividad agrícola (Culiacán Humaya, Rio Fuerte y Guasave), se aprecia mayormente una variabilidad en la distribución de agua, presentándose cambios drásticos en los ciclos 2002-2003, 2011-2012, 2017-2018 y 2020-2021.

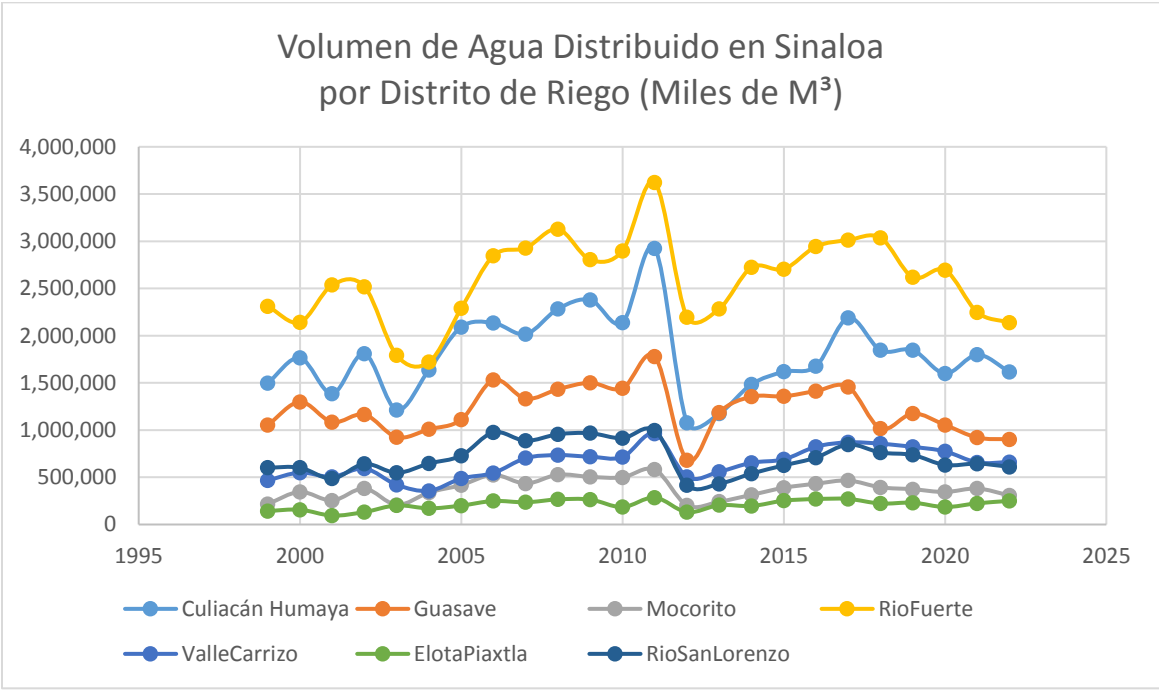


Figura 4. Volumen de Agua Distribuido en Sinaloa por Distrito de Riego.

En la producción de maíz, los cambios en el nivel de producción en los ciclos de baja distribución de agua, se muestran acorde al comportamiento del agua distribuida, sin embargo es importante lo sucedido en el ciclo 2010-2011 principalmente en los DR Culiacán Humaya y Rio Fuerte.

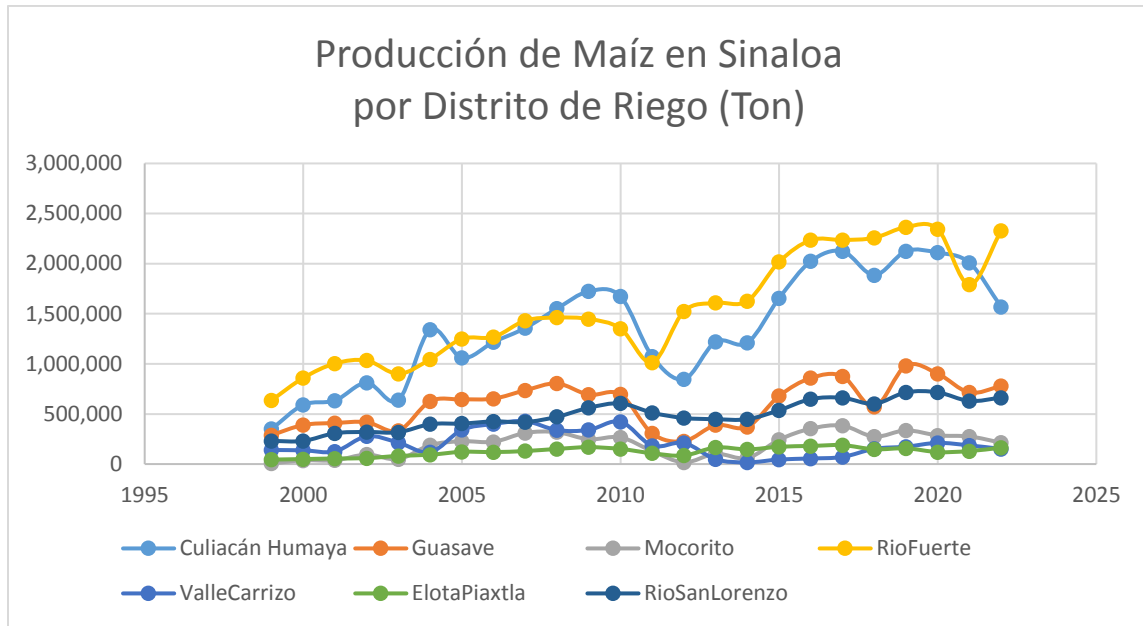


Figura 5. Producción de Maíz en Sinaloa por Distrito de Riego.

En el caso de la superficie sembrada de maíz, tal como se observa en la figura 6, en los 7 distritos de riego es observable una disminución de las hectáreas cultivadas en el ciclo agrícola 2011-2012, mismo que tuvo una caída en el volumen de agua distribuido.

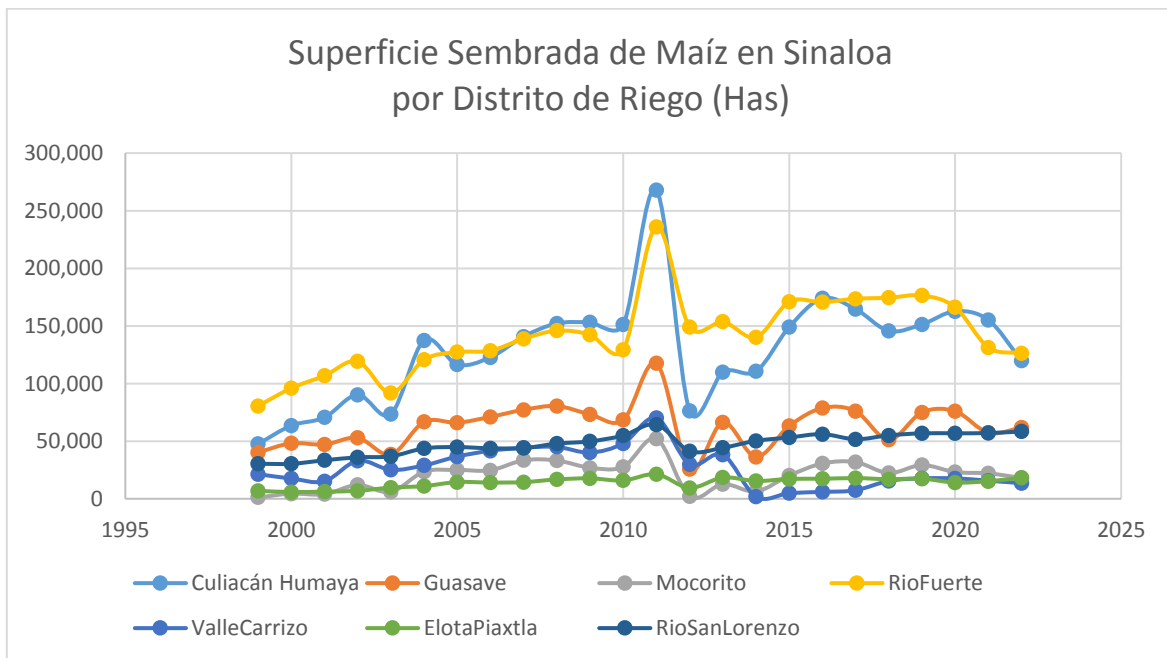


Figura 6. Superficie Sembrada de Maíz en Sinaloa por Distrito de Riego

Considerando la crisis hídrica que se presenta actualmente e impacta fuertemente al ciclo agrícola actual en el Estado, y apoyado de los datos de Gobierno del Estado de Sinaloa (2024), donde precisa la cantidad de hectáreas sembradas de maíz en los ciclos 2022-2023 y 2023-2024, y los cuales aún no son cargados en la base de datos oficial de CONAGUA que sirve a esta investigación para el análisis econométrico, se puede observar claramente de ciclo a ciclo una disminución de 132 mil hectáreas como se muestra en la figura 7.

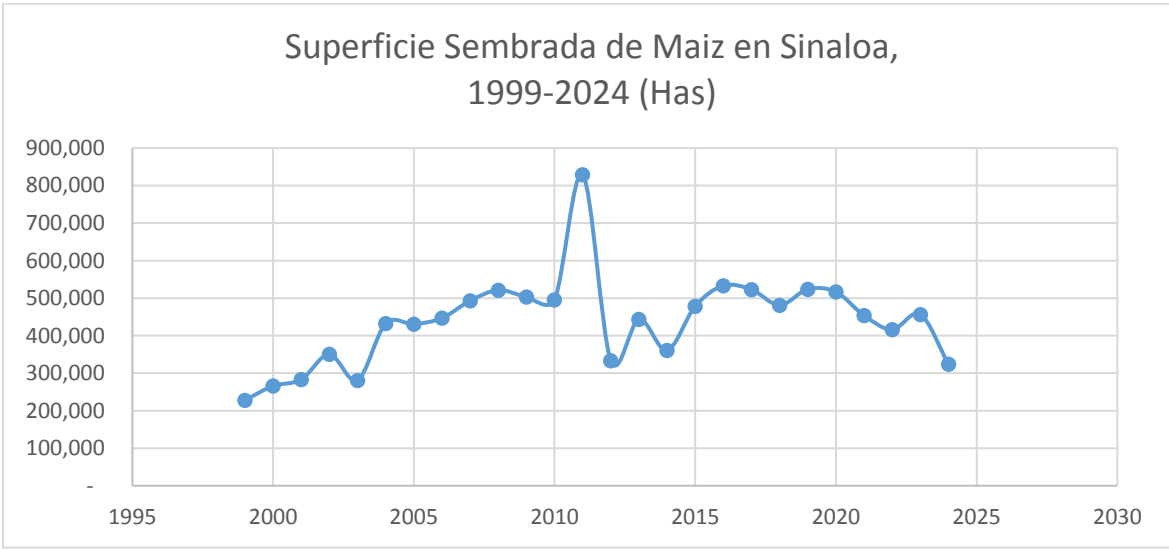


Figura 7. Superficie Sembrada de Maíz en Sinaloa, 1999-2024.

4.4.2 Población y muestra de análisis

En México, según datos de CONAGUA (2023) existen 86 distritos de riego a lo largo y ancho del país, distribuidos en 37 regiones hidrológicas y trece regiones hidrológico-administrativas que facilitan la administración del agua. Para esta investigación y considerando las características productivas del Estado de Sinaloa, se analizan 7 de los 8 DR que existen en el Estado. Se optó por el cultivo de maíz dado que en una primera revisión se observó que en la mayoría de los DR el 90% aproximadamente de la actividad agrícola corresponde a este cultivo.

Para comprender y ubicar geográficamente a cada uno de los distritos de riego que operan en el Estado de Sinaloa, En la figura 8 se visualizan espacialmente los 8 DR y el nivel de cobertura agrícola de cada uno.



Figura 8. Distribución y cobertura de los Distritos de Riego de Sinaloa. Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema Nacional de Información del Agua, CONAGUA (2023).

En el caso del distrito de riego 111 Baluarte Presidio ubicado en el Municipio de Mazatlán en el sur de Sinaloa, no será considerado en esta tesis pues carece de información continua en las fuentes oficiales de CONAGUA, aunado a que es un DR que se encuentra en construcción.

En la tabla 1 se muestran algunas características de los 7 DR considerados en el análisis econométrico.

Tabla 1. Características de los Distritos de Riego.

DR	Superficie Sembrada (Hectáreas)	Principales cultivos	Producción (Toneladas)	Usuarios
Culiacán Humaya	189,511	Maíz grano, frijol, garbanzo, sorgo.	3,211,584	18,971
Guasave	109,013	Maíz grano, garbanzo, frijol.	1,089,053	14,715
Mocorito	42,316	Maíz grano, garbanzo, sorgo, frijol.	340,783	5,668
Rio Fuerte	195,988	Maíz grano, frijol, papa.	3,649,361	21,449
Valle del Carrizo	71,023	Trigo grano, maíz grano.	533,766	8,339
Elota Piaxtla	22,262	Maíz grano, jitomate, chile.	384,253	2,590
Rio San Lorenzo	66,479	Maíz grano, caña de azúcar, frijol.	1,150,336	8,761

Fuente: Elaborado con datos de “*Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego*”, CONAGUA (2023).

Se observa en la tabla 1 que los distritos de riego Culiacán Humaya en el centro del Estado y Rio Fuerte en el norte, son los que mantienen una mayor cantidad de hectáreas sembradas. Sobresale en todos los distritos de riego el cultivo de maíz a excepción de Valle del Carrizo donde el principal cultivo es Trigo.

4.4.3 Esquema metodológico

En la figura 9 se visualiza el esquema metodológico del modelo econométrico y las principales etapas que debe seguir para alcanzar el objetivo de predecir el comportamiento de la producción de maíz en los distritos de riego de Sinaloa en relación con el volumen de agua distribuido de 1999 al 2022, y de esta forma estimar una mejora o no en la gestión y uso del agua en la agricultura.

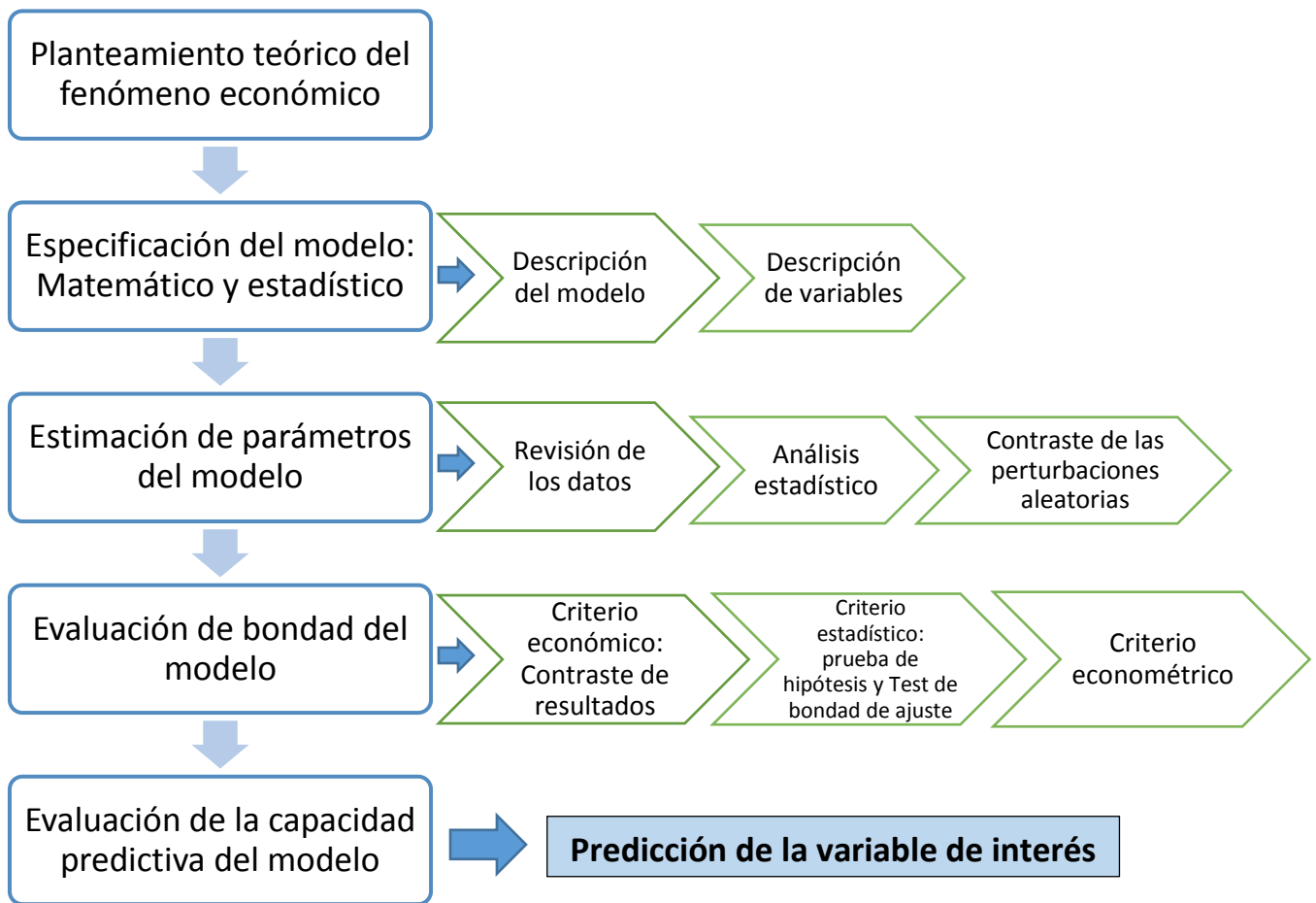


Figura 9. Etapas del modelo econométrico. Fuente: Elaboración propia con información de Gujarati y Porter (2009).

4.5 Aplicación del Modelo Econométrico de Datos Panel

4.5.1 Especificación del modelo

La especificación constituye la primera etapa del análisis econométrico y consiste en concretar y dar forma al modelo. Para el alcance deseado de esta tesis, y considerando la naturaleza de los datos se aplicará un modelo de regresión lineal simple por mínimos cuadrados ordinarios con datos panel de efectos fijos de sección cruzada. Este tipo de modelo investiga si los coeficientes, aunque siendo los mismos para los agentes sociales (Distritos de Riego) en un período dado, son diferentes dependiendo el agente social; de modo que permite investigar la variación transversal por medio de distintos términos independientes.

Como se mencionó en la ecuación número 2, si consideramos el modelo básico de la regresión lineal con datos panel, tendríamos el siguiente modelo:

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \dots + \beta_k x_{kit} + u_{it}$$

Al considerar un modelo de efectos fijos, tendríamos el siguiente modelo tal como se precisa y describe en la ecuación 3:

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it}$$

El modelo de regresión a estimar es el siguiente:

$$y_{it} = \beta_0 + \alpha_1 d_1 + \alpha_2 d_2 + \dots + \alpha_N d_N + \phi_1 t_1 + \phi_2 t_2 + \dots + \phi_T t_T + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it} \varepsilon_{it}$$

O de forma resumida:

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{N-1} \alpha_i d_i + \sum_{t=1}^{T-1} \phi_t t_t + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it} + \varepsilon_{it}$$

Las variables a considerar en el modelo econométrico y para efecto de su procesamiento en Eviews se describen de la siguiente forma:

Variable dependiente: Producción de maíz (producmaizton)

Variable explicativa: volumen de agua distribuido (volumbrutomilesm3)

En la figura 10 se visualizan los datos cargados en Eviews 12 para iniciar con las pruebas de estimación.

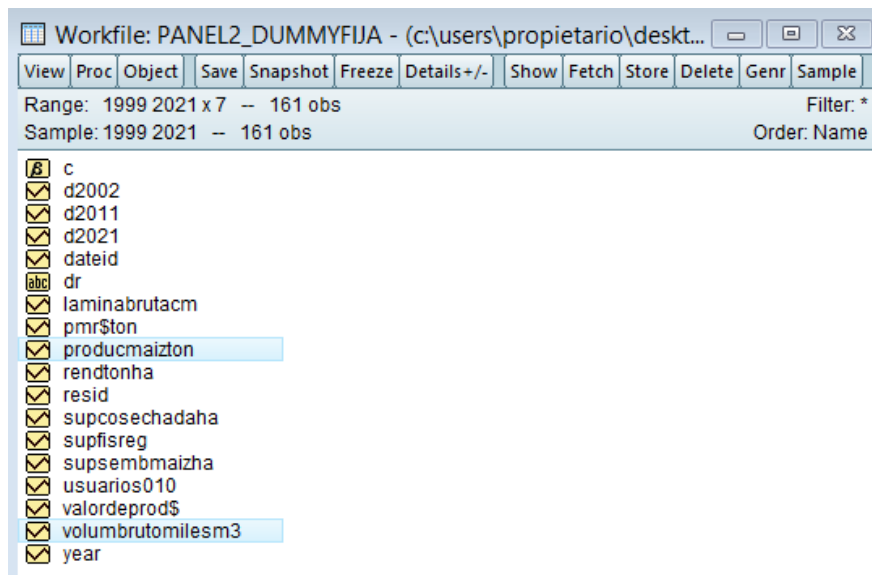


Figura 10. Datos en Eviews para el análisis econométrico

Para efectos del modelo de regresión de datos panel de efectos fijos de sección cruzada, el modelo propuesto en esta tesis es el siguiente:

$$\text{Producción de maíz}_{it} = B_0 + \text{Efecto fijo de DR} + B_1$$

$$\text{Volumen de agua distribuido } X_{1it} + U_{it} + \varepsilon_{it}$$

4.5.2 Estimación de los parámetros del modelo

En esta etapa, la estimación consiste en determinar la magnitud estimada de los parámetros desconocidos del modelo. Se utilizarán los datos de las Estadísticas agrícolas de los distritos de riego 1999-2022.

En la descripción de los datos, el modelo de regresión lineal por mínimos cuadrados ordinarios con datos panel de efectos fijos de sección cruzada, los datos fueron extraídos de las fuentes oficiales, limpiados y organizados acorde al modelo. A continuación se describen sus características:

- Los agentes sociales considerados en el modelo de regresión serán 7 Distritos de Riego: Culiacán Humaya, Guasave, Mocorito, Rio Fuerte, Valle del Carrizo, Elota Piaxtla y Rio San Lorenzo; todos con presencia en el Estado de Sinaloa.
- La serie de tiempo que se considera en el modelo econométrico va de 1999 al 2022; Considera los ciclos agrícolas en que CONAGUA tiene registros en su base de datos oficial y de acceso libre.
- Los datos de corte transversal, cargados en la base de datos a utilizar refieren a superficie sembrada de maíz (has), superficie cosechada (has), rendimiento (ton), producción total (ton), valor de la producción (miles de pesos), usuarios, volumen de agua distribuido (miles de m³) y superficie física regada (has) y lamina bruta (cm). Para el caso de este modelo, se utilizarán las variables producción total de maíz como variable dependiente, y volumen de agua distribuido como variable explicativa.

A continuación se presenta en la tabla 2 una muestra de los datos correspondiente al Distrito de Riego 010 Culiacán Humaya, uno de los siete DR considerados en esta tesis.

Tabla 2. Muestra de información de la base de datos oficial para cada Distrito de Riego.

DR	año	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada	Producción Total	Precio	Valor Producción	Usuarios	Superficie Física Regada	Volumen Bruto Distribuido
CuliacanHumaya	1999	47,589	46,353	350,262	1,350	472,852,740	20,748	236,433	1,497,579
CuliacanHumaya	2000	63,489	63,436	591,021	1,498	885,351,240	16,892	184,573	1,765,118
CuliacanHumaya	2001	70,601	70,461	634,107	1,100	697,517,589	15,230	153,415	1,386,193
CuliacanHumaya	2002	90,283	90,071	811,491	1,147	930,959,000	18,298	183,448	1,808,155
CuliacanHumaya	2003	73,510	73,510	638,984	1,400	894,828,845	16,423	171,217	1,213,798

CuliacanHumaya	2004	137,528	137,483	1,340,342	1,550	2,077,529,666	17,549	192,030	1,637,732
CuliacanHumaya	2005	116,548	116,474	1,060,231	1,470	1,558,538,923	19,461	190,620	2,091,869
CuliacanHumaya	2006	122,802	122,671	1,217,948	1,470	1,790,383,104	19,123	211,760	2,134,914
CuliacanHumaya	2007	140,814	140,757	1,357,618	2,498	3,391,396,552	17,977	192,750	2,016,663
CuliacanHumaya	2008	152,177	152,146	1,551,889	2,800	4,345,289,760	18,104	195,303	2,284,141
CuliacanHumaya	2009	153,095	153,095	1,723,583	2,696	4,647,216,306	18,971	201,725	2,379,539
CuliacanHumaya	2010	151,231	151,231	1,671,930	2,450	4,096,228,473	18,970	200,684	2,138,022
CuliacanHumaya	2011	267,910	139,698	1,074,579	4,200	4,513,232,892	18,971	198,863	2,924,529
CuliacanHumaya	2012	76,278	76,278	846,662	4,254	3,601,278,344	18,971	181,168	1,077,209
CuliacanHumaya	2013	110,009	110,009	1,220,823	3,700	4,517,046,240	18,971	186,883	1,176,086
CuliacanHumaya	2014	110,631	108,899	1,210,529	3,500	4,236,852,772	18,971	200,783	1,484,909
CuliacanHumaya	2015	149,059	149,059	1,655,359	3,700	6,124,829,574	18,971	200,783	1,617,765
CuliacanHumaya	2016	173,948	173,948	2,023,592	3,400	6,880,212,671	18,971	194,039	1,677,141
CuliacanHumaya	2017	164,599	164,092	2,123,893	3,593	7,630,489,099	18,971	192,151	2,187,600
CuliacanHumaya	2018	145,681	145,681	1,885,462	3,965	7,476,706,572	18,971	194,422	1,845,508
CuliacanHumaya	2019	151,355	151,355	2,124,813	4,000	8,499,251,484	18,971	184,433	1,847,349
CuliacanHumaya	2020	162,783	162,783	2,109,402	3,602	7,598,592,854	18,971	185,876	1,598,832
CuliacanHumaya	2021	155,123	155,123	2,008,730	5,909	11,869,586,003	18,971	190,925	1,798,280
CuliacanHumaya	2022	119,934	119,934	1,569,122	6,899	10,824,959,167	18,971	189,511	1,615,104

Fuente: Elaboración propia con datos de la Estadísticas Agrícolas de los Distritos de riego, (CONAGUA, 2023).

Se inicia con la estimación del modelo básico de regresión lineal con datos panel de efectos fijos de sección cruzada, por el método habitual de mínimos cuadrados ordinarios. Se realizan los contrastes habituales en el modelo para verificar el cumplimiento de las propiedades deseadas, se realiza también, un contraste sobre la perturbación aleatoria, para verificar la existencia o no de autocorrelación y heterogeneidad.

La tarea de análisis comienza con las representaciones gráficas de las variables del panel de efectos fijos por sección cruzada de forma general e individual: Producción de maíz y volumen de agua distribuido.

En las figuras 11 y 12 se aprecia el comportamiento de la producción de maíz y volumen de agua distribuido de 1999 al 2022. En el análisis de la variable

dependiente producción de maíz, se puede observar a través de los DR con mayor superficie sembrada los cambios más fuertes en la producción de maíz. En todos los DR se observa una caída drástica en la producción de maíz en 2011.

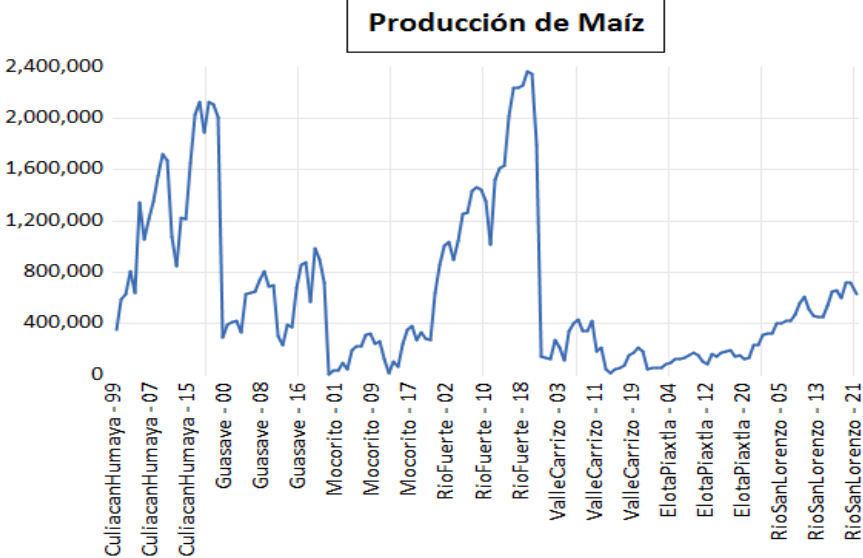


Figura 11. Producción de maíz

Para el caso del volumen de agua distribuido, se observan los ciclos que tuvieron las mayores caídas en la distribución de agua principalmente en los DR Culiacán Humaya y Rio Fuerte. Para el ciclo 2011-2012 se observa una caída fuerte en la distribución de agua en todos los DR.

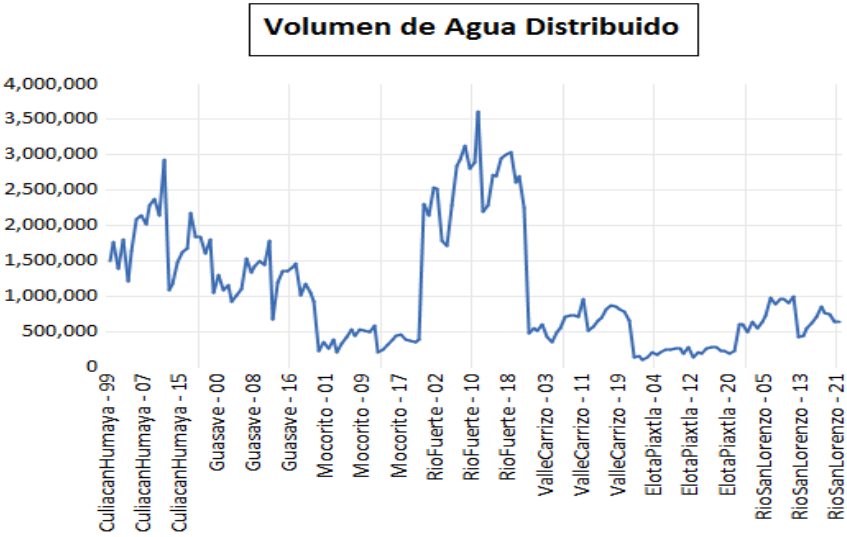


Figura 12. Volumen de Agua Distribuido

Como se muestra en las figuras 13 y 14, se realiza gráficamente la combinación de los DR para la variable producción de maíz y volumen de agua distribuido. Se observa para los ciclos 2010-2011 y 2011-2012 las caídas más fuertes en producción de maíz y en la distribución de agua.

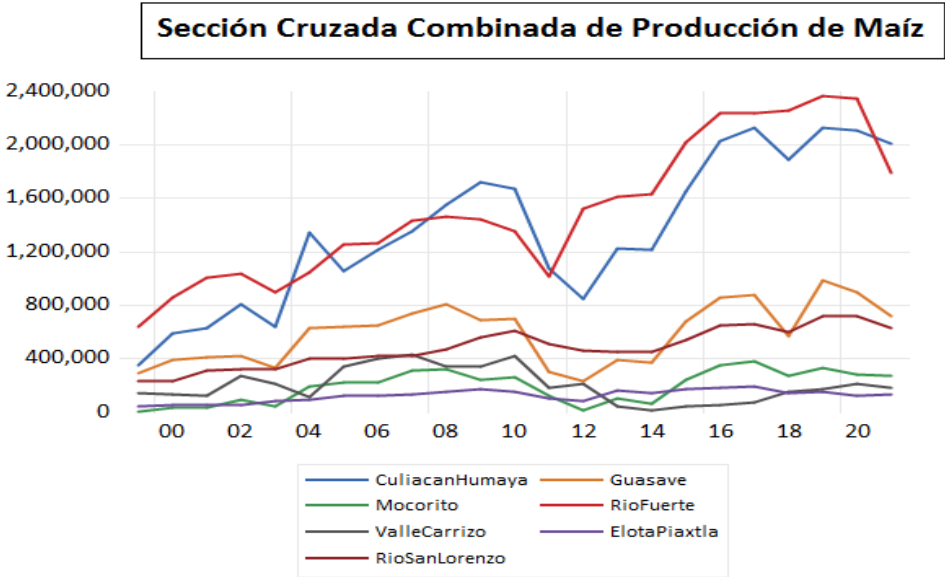


Figura 13. Sección cruzada combinada de producción de maíz.

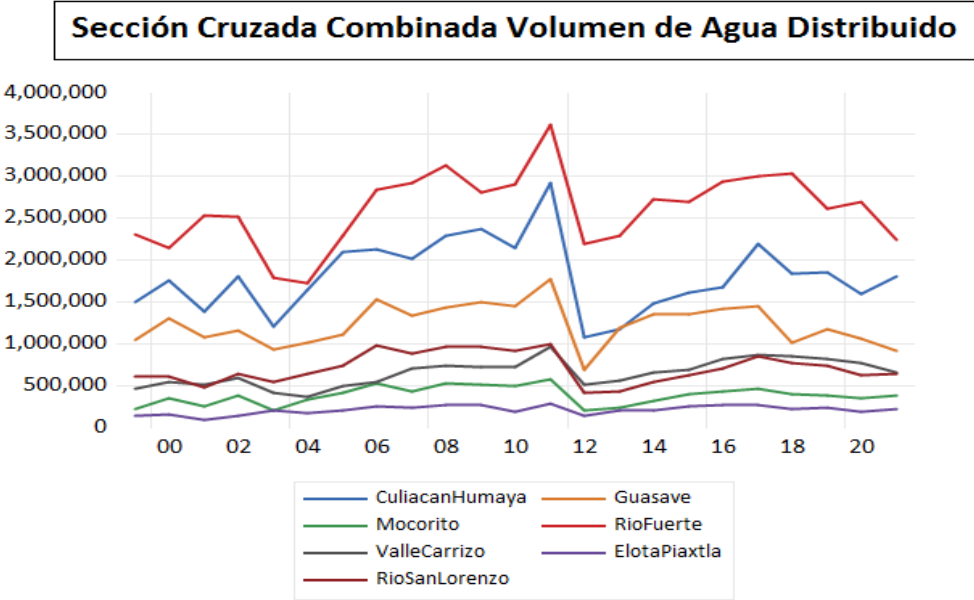
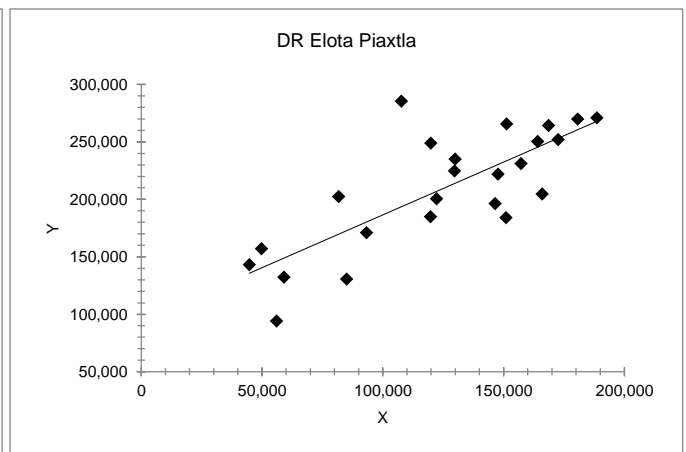
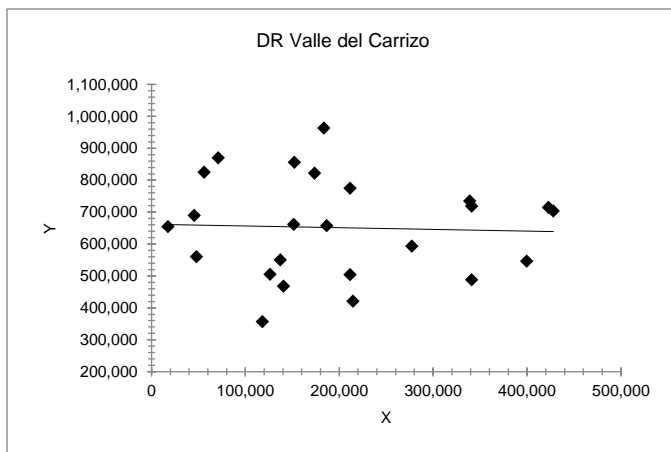
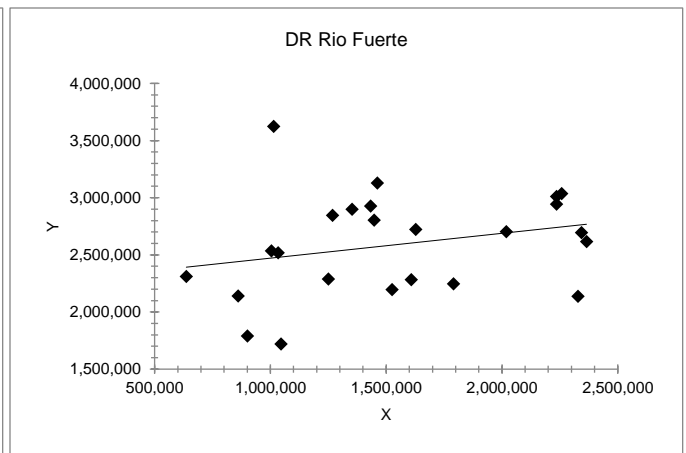
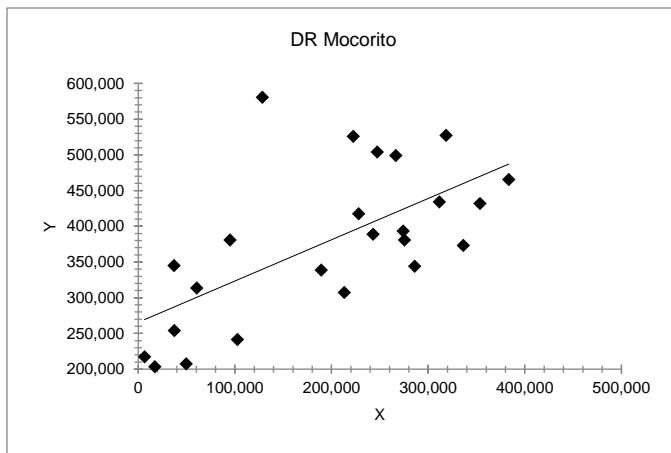
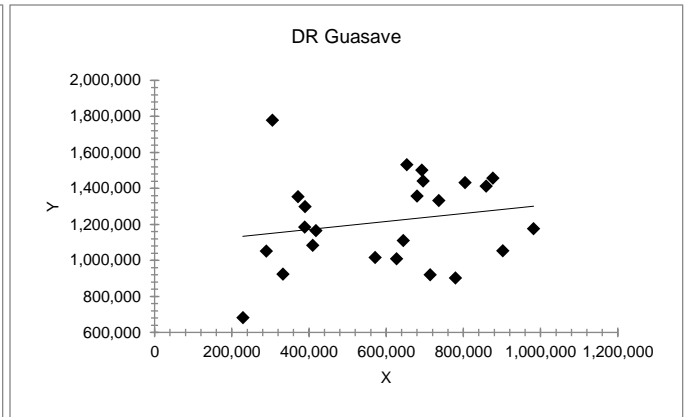
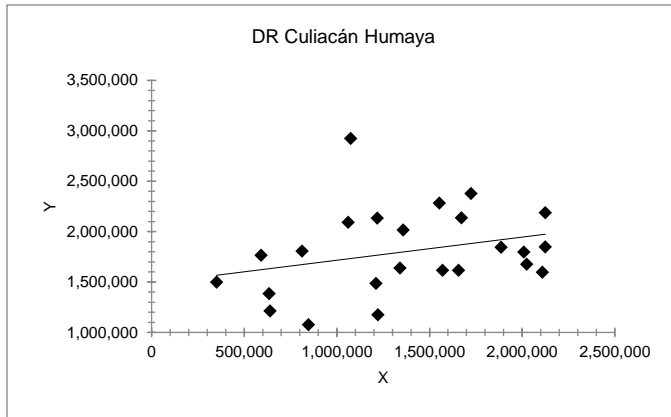


Figura 14. Sección cruzada combinada Volumen de agua distribuido.

Se complementa el análisis gráfico con un análisis de correlación de las variables del modelo (Producción de maíz y volumen de agua distribuido), para cada uno de los distritos de riego:



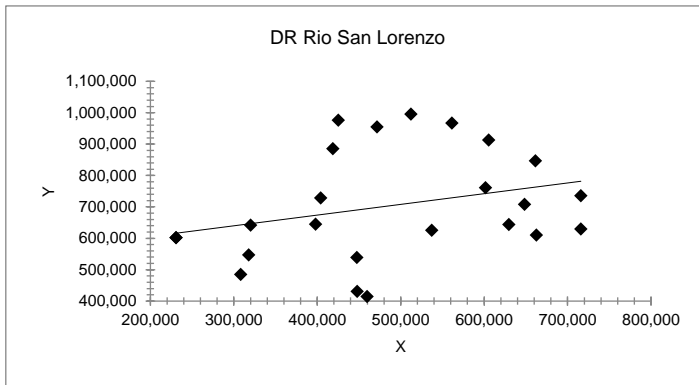


Figura 15. Correlación de variables del modelo econométrico para cada DR.

Como se observa al interior de la figura 15, en todos los DR del Estado a excepción del DR Valle del Carrizo, la relación que guarda la variable independiente volumen de agua distribuido con la producción de maíz es positiva; es decir, los cambios en la distribución de agua afectan positivamente al nivel de producción de maíz en la mayoría de los distritos de riego. En los DR con menor superficie cultivada (Mocorito y Elota Piaxtla) se aprecia más clara la correlación debido a una tendencia constante en los valores analizados y mínimos cambios en los cultivos. Factores como la diversidad de cultivos, tamaño del DR y cambios ambientales en algunos casos pudieran ser la respuesta a distritos de riego que muestran una pendiente ligeramente negativa como sucede en el DR Valle del Carrizo.

Una vez realizado el análisis gráfico y descriptivo de las variables del panel, se procede a su estimación considerándolo como un panel de efectos fijos de sección cruzada (efectos de DR). En la figura 16 se puede apreciar la estimación del modelo econométrico la cual considera como variable dependiente la producción de maíz y variable explicativa al volumen de agua distribuido en los 7 DR de 1999 al 2022.

Dependent Variable: PRODUCMAIZTON
 Method: Panel EGLS (Cross-section SUR)
 Date: 07/09/24 Time: 10:29
 Sample: 1999 2021
 Periods included: 23
 Cross-sections included: 7
 Total panel (balanced) observations: 161
 Linear estimation after one-step weighting matrix

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	260409.7	41482.26	6.277615	0.0000
VOLUMBRUTOMILESM3	0.346874	0.038129	9.097425	0.0000
Effects Specification				
Cross-section fixed (dummy variables)				
Weighted Statistics				
Root MSE	0.999571	R-squared	0.814508	
Mean dependent var	1.866750	Adjusted R-squared	0.806021	
S.D. dependent var	2.246201	S.E. of regression	1.025371	
Sum squared resid	160.8619	F-statistic	95.97615	
Durbin-Watson stat	1.360009	Prob(F-statistic)	0.000000	
Unweighted Statistics				
R-squared	0.774711	Mean dependent var	636730.1	
Sum squared resid	1.35E+13	Durbin-Watson stat	0.411936	

Figura 16. Estimación del modelo econométrico de datos panel de efectos fijos.

Realizada la interpretación habitual del modelo y verificando el cumplimiento de las propiedades deseadas, se procede con la evaluación de bondad del modelo.

4.5.3 Evaluación de bondad del modelo

- **Criterio económico:** Contraste de resultados

Consiste en verificar si las categorías de signo y tamaño son los que la teoría exige. Existen dos alternativas: 1) los parámetros estimados tengan el tamaño y el signo que la teoría señala, y 2) los parámetros estimados no poseen las características que la teoría señala.

Considerando la estimación de este modelo y respondiendo al criterio económico de la evaluación, se obtiene que los parámetros estimados tienen el tamaño y el signo que la teoría señala.

Se observa en la variable explicativa que por cada mil m³ de agua distribuida en los DR, hay un incremento positivo en la producción de maíz de 3.4 toneladas.

- **Criterio estadístico:** prueba de hipótesis y Test de bondad de ajuste

Este criterio consiste en someter a los parámetros estimados a una serie de test o exámenes para determinar su grado de confiabilidad o certeza. Los dos procedimientos base de este criterio son la prueba de hipótesis y el test de bondad de ajuste

Prueba de hipótesis. A través de las pruebas de significancia individual y global confirmamos o rechazamos la hipótesis nula.

Test de bondad de ajuste. Mediante el coeficiente de determinación (R^2), se puede observar la proporción o porcentaje de variación total en la variable dependiente que ha sido explicada por los cambios de las variables explicativas del modelo.

La variable explicativa es estadísticamente significativa al 5% de manera individual (0.0000), y global (0.000000).

En la regresión de este modelo, se observa un R^2 de 81% y un R^2 ajustada del 80%. Se tiene un modelo fiable en el cual la variable explicativa volumen de agua distribuido, explica en gran medida el comportamiento de la variable dependiente producción de maíz en los DR.

- **Criterio econométrico:** determinar si todos los supuestos del modelo se han cumplido de manera satisfactoria.

Normalidad de los residuos. Como se observa en la figura 17, el histograma y las estadísticas descriptivas de los errores, los residuos se comportan de acuerdo con una distribución normal, es decir, se acepta la hipótesis nula. El estadístico Jarque-Bera es mayor a 0.05 así como la probabilidad.

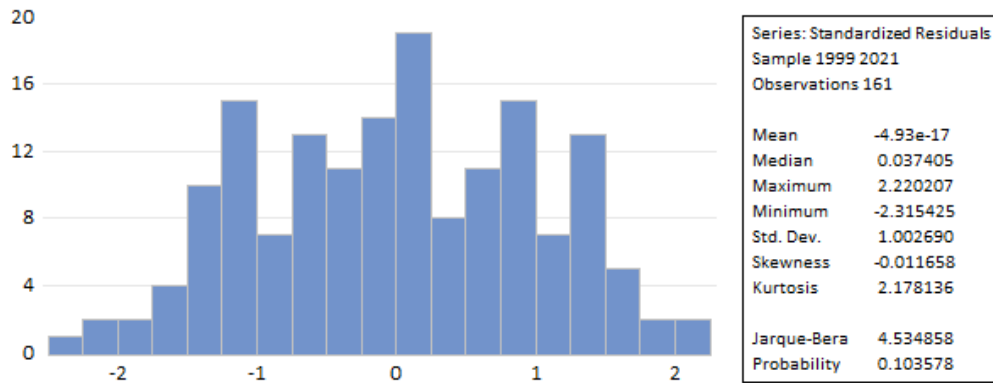


Figura 17. Prueba de normalidad de los residuos.

Multicolinealidad. No debe existir dependencia lineal entre las variables explicativas. Una manera práctica de identificar multicolinealidad es teniendo un R^2 cercano a 100% y estimadores que no son estadísticamente significativos. Al tener una sola variable explicativa se descarta la multicolinealidad.

Homocedasticidad. La varianza de las perturbaciones debe ser constante en cualquiera de las estimaciones hechas mediante el modelo. El hecho de que los valores se alejen de la media ocasiona una dispersión o fuerte perturbación entre las varianzas lo que expone una heterocedasticidad que el modelo no acepta. Para el modelo de datos panel de efectos fijos de sección cruzada se realizó la prueba de heterocedasticidad de los residuos (figura 18), y según se observa la probabilidad es mayor a 10% por lo que se acepta la hipótesis nula de homocedasticidad.

Test for Equality of Variances of RESID
Categorized by values of RESID
Date: 07/09/24 Time: 14:48
Sample: 1999 2021
Included observations: 161

Method	df	Value	Probability
Bartlett	3	1.554707	0.6697
Levene	(3, 157)	0.755083	0.5210
Brown-Forsythe	(3, 157)	0.740703	0.5293

Category Statistics

RESID	Count	Std. Dev.	Mean Abs. Mean Diff.	Mean Abs. Median Diff.
[-1000000, ...	8	143173.2	120091.6	120091.6
[-500000, 0)	70	117418.0	87538.61	85065.50
[0, 500000)	72	106596.5	81439.73	77552.97
[500000, 1...	11	110470.1	93768.86	90892.30
All	161	290658.3	86854.37	83844.39

Bartlett weighted standard deviation: 113530.1

Figura 18. Prueba de heterocedasticidad.

Autocorrelación. El problema de autocorrelación se presenta en una regresión cuando los errores de las diferentes observaciones están relacionados en el tiempo. Esto indica que el efecto de los errores en el tiempo no es instantáneo sino por el contrario es persistente en el tiempo. En la estimación se utilizó el modelo cross section SUR (Seemingly Unrelated Regressions), regresiones aparentemente no relacionadas, el cual te permite estimar un modelo que considera que los errores están correlacionados entre sí a través de las diferentes secciones transversales del panel; Este enfoque mejora la eficiencia de las estimaciones si efectivamente existe dicha correlación, comparado con un modelo estándar de efectos fijos que asume independencia entre los errores de diferentes secciones transversales (Zellner, 1962). En el caso de esta regresión un Durbin-Watson stat de 1.36 que se acerca a 2 se considera que no existe autocorrelación en la estimación de este modelo.

Una vez demostrado el cumplimiento de los supuestos de MCO, se procede a darle un sentido económico a los coeficientes de regresión a través del principio de *ceteris paribus* y en el mejor de los casos a predecir o pronosticar el comportamiento futuro de la variable endógena mediante el modelo estimado.

4.5.4 Evaluación de la capacidad predictiva del modelo

Cuando un modelo se elabora con fines predictivos, es preciso someterlo a pruebas que puedan valorar su capacidad predictiva fuera del periodo o intervalo muestral. Es posible obtener 2 clases de predicciones con un modelo de regresión estimado (Monroy et als., 2015).

- 1) Predicción o simulación histórica. Es la que se obtiene dando a la variable explicativa el valor muestral. Si el modelo se ajusta bien a los datos, la predicción histórica se ajustará bien a la realidad muestral. Esta predicción se usa para valorar la capacidad descriptiva del modelo. También se le conoce como predicción.
- 2) Predicción ex - ante. Es la predicción propiamente dicha de un modelo estimado que ha pasado todos los test y luego se usa para anticipar lo que

va a ocurrir en el futuro o lo que ocurriría dadas determinadas circunstancias que vendrían definidas por los valores de X.

Es importante en esta etapa del modelo econométrico aclarar que dado el enfoque de esta investigación, se ha planteado un modelo de regresión lineal con datos panel de efectos fijos de sección cruzada, dado que el interés en la gestión y uso del agua difiere de un distrito de riego a otro y de forma temporal el volumen de distribución de agua por condiciones de precipitación es variable.

4.5.5 Predicción de la variable de interés

Analizando el comportamiento de las variables del modelo y los efectos fijos de sección cruzada de los distritos de riego considerados en el análisis, es claro que en algunos distritos de riego como Culiacán Humaya y Rio Fuerte los cambios en la producción obedecen con mayor razón a los cambios en la distribución de agua. Contrariamente los distritos de riego con un coeficiente negativo tendrán niveles de producción de maíz menores, dado el tamaño del DR y la diversidad de cultivos. A continuación, en la figura 19 se muestran los efectos fijos de sección cruzada de los 7 distritos de riego analizados, los cuales determinarán la diferencia entre un modelo y otro en el análisis econométrico.

View	Proc	Object	Print	Name	Freeze	Estimate	Forecast	Stats	Resids
Cross-section Fixed Effects									
		DR		Effect					
1		CuliacanHu...		470335.4					
2		Guasave		-97034.16					
3		Mocorito		-198460.6					
4		RioFuerte		343779.4					
5		ValleCarrizo		-284474.0					
6		ElotaPiactla		-209389.9					
7		RioSanLore...		-24756.20					

Figura 19. Efectos fijos de sección cruzada por DR.

Los efectos fijos de sección cruzada de los 7 DR se van a someter al test de máxima verosimilitud (figura 20) para probar si los efectos fijos de los distritos de riego pueden o no considerarse iguales. La hipótesis nula nos dice que las diferencias

entre los efectos son redundantes versus a una hipótesis alternativa que dice que los efectos fijos no son redundantes:

H_0 = Los efectos fijos son redundantes; H_1 = Los efectos fijos no son redundantes

Redundant Fixed Effects Tests
Equation: Untitled
Test cross-section fixed effects

Effects Test	Statistic	d.f.	Prob.
Cross-section F	16.382566	(6,153)	0.0000

Cross-section fixed effects test equation:
Dependent Variable: PRODUCMAIZTON
Method: Panel EGLS (Cross-section SUR)
Date: 07/09/24 Time: 15:26
Sample: 1999 2021
Periods included: 23
Cross-sections included: 7
Total panel (balanced) observations: 161
Use pre-specified GLS weights

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1324.706	4243.308	-0.312187	0.7553
VOLUMBRUTOMILESM3	0.429839	0.017504	24.55624	0.0000

Weighted Statistics

Root MSE	1.281033	R-squared	0.695338
Mean dependent var	1.866750	Adjusted R-squared	0.693422
S.D. dependent var	2.246201	S.E. of regression	1.289064
Sum squared resid	264.2083	F-statistic	362.8896
Durbin-Watson stat	0.901248	Prob(F-statistic)	0.000000

Unweighted Statistics

R-squared	0.569156	Mean dependent var	636730.1
Sum squared resid	2.59E+13	Durbin-Watson stat	0.247940

Figura 20. Prueba de redundancia de los efectos fijos de sección cruzada.

Como se observa en la imagen, las probabilidades son iguales a cero o menores a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, la cual nos dice que los efectos fijos de los distritos de riego y de tiempo son diferentes en los siete distritos de riego analizados.

Para simular los efectos de valores alternativos en diferentes variables o parámetros, es preciso disponer de una cierta solución del modelo que la haga factible en un contexto de simultaneidad de las diferentes ecuaciones.

La predicción o simulación más habitual es la que supone cuantificar los efectos sobre la variable dependiente de valores alternativos para la variable independiente del modelo. Si los datos de la variable independiente son históricos se tiene una

simulación ex – post o histórica; si los datos de las variable independiente son supuestos para el futuro se trata de una simulación ex – ante (Rosales, 2013).

Para valorar la capacidad predictiva histórica del modelo, consideramos nuestro modelo de datos panel de efectos fijos de sección cruzada:

$$\begin{aligned} \text{Producción de maíz}_{it} &= B_0 + \text{Efecto fijo de DR} + B_1 \\ \text{Volumen de agua distribuido } X_{1it} &+ U_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned}$$

Donde:

B_0 = Coeficiente del intercepto

B_1 = Coeficiente de la variable explicativa

Al ser un modelo de efectos fijos de sección cruzada, se pudieran considerar para el análisis 7 modelos diferentes, según corresponda al distrito de riego de interés.

$$\begin{aligned} \text{Producción Maiz}_{it} &= 260409.7 + \alpha_1 d_1 + \alpha_2 d_2 + \alpha_3 d_3 + \alpha_4 d_4 + \alpha_5 d_5 + \alpha_6 d_6 + \alpha_7 d_7 \\ &+ 0.346874 \text{ (Agua)} \end{aligned}$$

Donde:

α_1 = efecto fijo de sección cruzada

d_1 = DR Culiacán Humaya, d_2 = DR Guasave, d_3 = DR Mocerito, d_4 = DR Rio Fuerte, d_5 = DR Valle del Carrizo, d_6 = DR Elota Piaxtla, d_7 = DR Rio San Lorenzo

Si consideramos el DR Culiacán Humaya, el modelo quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Producción Maiz}_{it} = 260409.7 + 470335.4 + 0.346874 * \text{(Agua)}$$

$$B_0 = 260409.7$$

$$B_1 = 0.346874$$

$$a_1 d_1 = 470335.4$$

Agua = Agua distribuida en DR seleccionado en ciclo específico

En este caso agua, hace referencia al cambio en la variable independiente volumen de agua distribuido entregado por el DR Culiacán Humaya en los ciclos agrícolas.

Capítulo 5. Resultados y Discusiones del Modelo Econométrico de Datos Panel.

Para continuar con el análisis de los resultados e iniciando con las primeras pruebas del modelo econométrico, se despeja el modelo utilizando los datos de la estimación y considerando para el término agua un valor tomado de la base de datos correspondiente al volumen de agua distribuido en cada ciclo agrícola. Se consideran los ciclos 2010 y 2012 del DR Culiacán Humaya para este análisis:

$$1. \text{ Producción Maiz}_{it} = 260409.7 + 470335.4 + 0.346874 * (2, 138, 022) \text{ 2010}$$

$$\text{Producción Maiz}_{it} = 730,745.1 + 741,624.2 = 1, 472, 369.3 \text{ toneladas}$$

$$2. \text{ Producción Maiz}_{it} = 260409.7 + 470335.4 + 0.346874 * (1, 077,209) \text{ 2012}$$

$$\text{Producción Maiz}_{it} = 730,745.1 + 373,655.7 = 1, 104,400.8 \text{ toneladas}$$

Se observa según la estimación del modelo econométrico de datos panel de efectos fijos que para el ciclo agrícola 2009-2010 se debieron haber obtenido 1, 472, 369.3 toneladas de maíz en el distrito de riego Culiacán Humaya. Para el ciclo agrícola 2011-2012 la producción de maíz debió haber sido según el modelo 1, 104,400.8 toneladas.

Si replicamos el modelo con datos correspondientes al volumen de agua distribuido para todos los ciclos agrícolas del DR Culiacán Humaya ubicado en el centro del Estado de Sinaloa, obtenemos los resultados de la tabla 3.

Tabla 3. Resultados del modelo econométrico y cruce con información de la base de datos para el DR Culiacán Humaya.

DR	Año	Superficie sembrada (has)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Modelo (Ton)	Producción Base de datos (Ton)	Volumen de agua distribuido (miles de M³)	Lamina bruta (Cm)
	1999	47,589	7.6	1,250,216.32	350,262	1,497,579	63
	2000	63,489	9.3	1,343,018.68	591,021	1,765,118	96
	2001	70,601	9.0	1,211,579.27	634,107	1,386,193	90
	2002	90,283	9.0	1,357,946.95	811,491	1,808,155	99
	2003	73,510	8.7	1,151,779.93	638,984	1,213,798	71
	2004	137,528	9.7	1,298,831.9	1,340,342	1,637,732	85
	2005	116,548	9.1	1,456,360.07	1,060,231	2,091,869	110
	2006	122,802	9.9	1,471,291.2	1,217,948	2,134,914	101

Culiacán Humaya	2007	140,814	9.6	1,430,272.91	1,357,618	2,016,663	105
	2008	152,177	10.2	1,523,054.23	1,551,889	2,284,141	117
	2009	153,095	11.3	1,556,145.17	1,723,583	2,379,539	118
	2010	151,231	11.1	1,472,369.33	1,671,930	2,138,022	107
	2011	267,910	7.7	1,745,188.14	1,074,579	2,924,529	147
	2012	76,278	11.1	1,104,400.89	846,662	1,077,209	59
	2013	110,009	11.1	1,138,698.93	1,220,823	1,176,086	63
	2014	110,631	11.1	1,245,821.5	1,210,529	1,484,909	74
	2015	149,059	11.1	1,291,905.61	1,655,359	1,617,765	81
	2016	173,948	11.6	1,312,501.69	2,023,592	1,677,141	86
	2017	164,599	12.9	1,489,566.81	2,123,893	2,187,600	114
	2018	145,681	12.9	1,370,903.74	1,885,462	1,845,508	95
	2019	151,355	14.0	1,371,542.29	2,124,813	1,847,349	100
	2020	162,783	13.0	1,285,338.49	2,109,402	1,598,832	86
2021	155,123	12.9	1,354,521.77	2,008,730	1,798,280	94.2	
2022	119,934	13.1	1,290,982.58	1,569,122	1,615,104	85.2	

A continuación se replica el modelo con los datos del volumen de agua distribuido por ciclo agrícola para el DR Rio Fuerte ubicado en el norte del Estado de Sinaloa y se obtienen los resultados de la tabla 4. Se replica el modelo para cada DR y se procede al análisis de resultados considerando la información de la base de datos complementaria.

Tabla 4. Resultados del modelo econométrico y cruce con información de la base de datos para el DR Rio Fuerte.

DR	Año	Superficie sembrada (has)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Modelo (Ton)	Producción Base de datos (Ton)	Volumen de agua distribuido (miles de M ³)	Lamina bruta (Cm)
Rio Fuerte	1999	80,584	8.0	1,405,993.207	636,856	2,311,514	113
	2000	95,982	9.0	1,347,031.912	859,815	2,141,535	103
	2001	106,782	9.5	1,484,054.773	1,003,640	2,536,557	125
	2002	119,293	8.7	1,477,834.975	1,033,494	2,518,626	121
	2003	91,740	9.9	1,225,377.65	900,078	1,790,819	88
	2004	120,703	8.7	1,200,859.902	1,045,841	1,720,137	87
	2005	127,258	9.9	1,398,138.939	1,249,684	2,288,871	112
	2006	128,535	9.9	1,591,902.025	1,267,968	2,847,469	134
	2007	138,889	10.3	1,620,026.454	1,432,199	2,928,549	139
	2008	145,866	10.0	1,689,344.942	1,461,423	3,128,386	146
	2009	142,452	10.2	1,576,915.978	1,447,892	2,804,266	133
	2010	129,424	10.4	1,609,715.034	1,351,949	2,898,822	137
	2011	235,947	8.3	1,860,996.323	1,014,019	3,623,238	166
	2012	148,916	10.2	1,366,366.341	1,524,473	2,197,274	99
	2013	153,646	10.5	1,396,753.555	1,608,336	2,284,877	105
	2014	140,221	11.6	1,548,861.915	1,627,188	2,723,389	124
2015	171,001	11.8	1,542,188.154	2,017,929	2,704,149	121	
2016	170,601	13.1	1,625,445.163	2,235,047	2,944,170	132	

	2017	173,598	12.9	1,648,887.174	2,235,697	3,011,751	135
	2018	174,483	12.9	1,657,491.048	2,257,360	3,036,555	136
	2019	176,434	13.4	1,512,313.321	2,364,747	2,618,023	118
	2020	166,259	14.1	1,538,905.765	2,343,028	2,694,686	122
	2021	131,357	13.6	1,383,745.787	1,790,479	2,247,377	101.1
	2022	126,358	18.4	1,345,875.054	2,328,168	2,138,200	109.1

Después de haber realizado el cruce de información entre la base de datos y el resultado del modelo para todos los ciclos agrícolas de la muestra y considerando por grado de importancia y resultados a los DR Culiacán Humaya y Rio Fuerte, es preciso realizar un análisis con los datos de las variables complementarias de la base de datos *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego* (superficie sembrada, rendimiento y lámina bruta) y los resultados de la estimación del modelo econométrico de cada DR para poder enriquecer el análisis y responder mi pregunta de investigación y comprobar el cumplimiento de la hipótesis general de la tesis.

Se aclara que para efectos del modelo econométrico estas variables no fueron consideradas pues violaban alguno de los supuestos de los mínimos cuadrados ordinarios por lo que no fue posible considerarlas econométricamente pero si a través del análisis numérico de la base de datos.

Para el análisis de la gestión y uso del agua que los 7 distritos de riego llevan a cabo al interior de su red de módulos de riego en Sinaloa, y apegados al derecho que tienen cada uno de estos organismos agrícolas para administrarse y gestionar todas sus actividades, conferidas por la Ley de Aguas Nacionales de 1992, para esta investigación es relevante considerar los valores de la lámina bruta anual en cada uno de los DR, pues será esta medida la que nos indique en qué grado se utilizó el agua en ciclos de baja o alta distribución y valorar si fue gestionada y usada correctamente.

Sifuentes et al. (2012), consideran que la necesidad de riego o lámina neta en el cultivo de maíz es de 45 cm (4500 m³/ha) para años normales, y a partir de esta consideración haremos el siguiente análisis con el cruce de los resultados del modelo y base de datos.

Es importante aclarar que derivado de la revisión de la literatura e información de la base de datos, lo que se consideraba inicialmente como una disminución de la producción derivado de una baja distribución de agua en el ciclo agrícola 2010-2011 no obedece a esta relación; el ciclo agrícola 2011 está marcado por el daño ocasionado por un fenómeno natural sin precedentes que ocasionó impactos negativos en el rendimiento y producción de maíz en ese ciclo. Una disminución en las temperaturas de hasta los -3° en zonas agrícolas de norte a sur del Estado un 4 de febrero del 2011, ocasionó que se dejaran de cosechar 415, 704 hectáreas, aproximadamente 4, 306, 748 toneladas de maíz no se produjeron según la base de datos de CONAGUA.

Según se observa en los resultados del modelo y la información de la base de datos, como consecuencia al fenómeno climatológico, la gestión y uso del agua al interior del DR por parte de los módulos y usuarios mostró una eficiencia posterior al año 2011. De forma general se observa que después del ciclo 2010-2011 en ciclos donde el nivel de distribución de agua fue bajo y la lámina bruta de riego disminuyó, se alcanzó el nivel de producción que el modelo estimó al cruzarlo con la base de datos. Contrariamente anterior al 2011 en la mayoría de los ciclos, aun cuando hubo altos niveles de distribución de agua y láminas brutas de riego altas no se alcanza la producción que el modelo estima.

Para el caso del **DR Culiacán Humaya**, se observa de acuerdo a los resultados del modelo y la base de datos, con láminas brutas de riego que oscilen entre 60 y 74 cm se alcanzan los resultados que el modelo estima en un margen aceptable. En los casos donde las láminas brutas de riego son altas así como el volumen distribuido, el alto valor en la producción pudiera asociarse en medida a ese exceso de agua pero también en los últimos años debiéramos considerar la mejora de otros insumos en la producción como semillas mejoradas, maquinaria, agroquímicos, etc., pues el nivel de rendimiento muestra un incremento aun cuando el volumen de agua distribuido no presenta incrementos.

Analizando los resultados del modelo y el cruce con la base de datos para ciclos agrícolas en particular, se observa que para el ciclo 2013 donde hubo una caída en la distribución de agua comparada con ciclos anteriores, la cual fue de 1, 176, 086 m³ con una lámina bruta de 63 cm; la producción de maíz obtenida por el modelo fue de 1,138,698.93 toneladas, es ligeramente mayor al que se reportó en la base de datos utilizada la cual fue de 1,220,823 toneladas. Lo anterior es de gran relevancia por dos motivos: el primero que fundamenta la validez del modelo econométrico al coincidir los resultados del modelo con la base de datos, y el segundo, que nos indica en qué medida la lámina bruta permite un uso eficiente del agua en la producción de maíz en el distrito de riego Culiacán Humaya, confirmando que no se requieren distribuciones y láminas brutas de riego altas para producir maíz.

Tabla 5. Análisis de resultados por ciclos en DR Culiacán Humaya.

DR	Año	Superficie sembrada (has)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Modelo (Ton)	Producción Base de datos (Ton)	Volumen de agua distribuido (miles de M ³)	Lamina bruta (Cm)
Culiacán Humaya	2013	110,009	11.1	1,138,698.93	1,220,823	1,176,086	63
	2014	110,631	11.1	1,245,821.5	1,210,529	1,484,909	74

Como se muestra en la tabla 5, en el caso de ciclos donde la lámina bruta fue ligeramente mayor a 63 cm se confirma lo anterior. Tal es el caso del ciclo 2014, donde se cultivaron las mismas hectáreas que en 2013 y hubo un incremento en la distribución del agua de 308 mil m³, se observa que la lámina bruta de riego incrementó a 74 cm y el nivel de producción de maíz de la base de datos es menor al que el modelo econométrico estima. Lo anterior permite aseverar que aun cuando hubo un incremento en el volumen de agua distribuido y la lámina bruta de riego, esa agua fue ineficientemente utilizada pues el volumen de producción de la base de datos es casi el mismo para 2013 y 2014. Es importante considerar lo dice Sifuentes et al. (2012), el cultivo de maíz tiene una necesidad hídrica o lámina neta de 45 cm para producir eficientemente maíz, y una lámina bruta que considera los

desperdicios de 75 cm. Para este DR y considerando los resultados del modelo se cumple este argumento.

Continuando con el análisis del modelo y la información de la base de datos, es posible hacer comparaciones entre ciclos agrícolas para demostrar la viabilidad del modelo y una mejora en los procesos de gestión y uso del agua tal como se muestra en la tabla 6. Para el ciclo agrícola 2018 donde el volumen de agua distribuido fue de 1, 845, 508 m³, ligeramente mayor al del ciclo 2002, es notable que la superficie sembrada fue mayor en 55 mil hectáreas las cuales permitieron incrementar la producción a 1, 885, 462 toneladas, por encima de las 1, 370,903.74 toneladas que el modelo estimaba. En este caso, el uso y mejora de otros insumos en la producción de maíz pudieran explicar el incremento en la producción en la base de datos pues el rendimiento ton/ha así lo demuestra.

Tabla 6. Análisis de resultados por ciclos en DR Culiacán Humaya.

DR	Año	Superficie sembrada (has)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Modelo (Ton)	Producción Base de datos (Ton)	Volumen de agua distribuido (miles de M ³)	Lamina bruta (Cm)
Culiacán Humaya	2002	90,283	9.0	1,357,946.95	811,491	1,808,155	99
	2011	267,910	7.7	1,745,188.14	1,074,579	2,924,529	147
	2018	145,681	12.9	1,370,903.74	1,885,462	1,845,508	95

Para el caso del DR Culiacán Humaya, lo sucedido en el ciclo agrícola 2012 en relación con el suceso climatológico del 2011, es relevante pues el resultado de la base de datos en relación con la estimación del modelo no se cumple. Es decir, el volumen de agua distribuido y la lámina bruta de riego tuvieron una caída drástica comparada con ciclos anteriores, sin realizar ajustes en este ciclo difícilmente se alcanzaría la producción de maíz que el modelo estimaba. Para este caso pudiéramos afirmar que una baja distribución del agua y un uso ineficiente por diferentes prácticas arraigadas al interior del distrito de riego no permitieron la producción que el modelo estimaba tal como se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Análisis de resultados por ciclos en DR Culiacán Humaya

DR	Año	Superficie sembrada (has)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Modelo (Ton)	Producción Base de datos (Ton)	Volumen de agua distribuido (miles de M³)	Lamina bruta (Cm)
Culiacán	2010	151,231	11.1	1,472,369.33	1,671,930	2,138,022	107
Humaya	2011	267,910	7.7	1,745,188.14	1,074,579	2,924,529	147
	2012	76,278	11.1	1,104,400.89	846,662	1,077,209	59

Desde 1999 al 2007 se observa que en la mayoría de los ciclos agrícolas el volumen de producción de maíz en el DR Culiacán Humaya es mayor el que resulta del modelo que el reportado en la base de datos; visualizando el volumen de agua distribuido y la lámina bruta de riego claramente se observa un desperdicio de agua sin reflejar el resultado en los volúmenes de producción. A partir del 2008 se observa una mejora en el rendimiento de toneladas de maíz por hectárea lo cual pudiera atribuirse al uso de otros insumos en la producción los cuales quedan fuera del análisis de esta tesis. El hecho de tener láminas brutas de riego mayores a 75 cm solo refleja una ineficiencia en los procesos de gestión y uso del agua pudiendo realizar incrementos en la superficie sembrada o destinarla a otros usos consuntivos.

Continuando con el análisis, en el caso del **DR Rio Fuerte** y siguiendo la dinámica del DR Culiacán Humaya, los resultados fueron los siguientes.

Tal como sucedió en el DR Culiacán Humaya, el ciclo agrícola 2011 está marcado por el daño ocasionado por el fenómeno climatológico sin precedentes que ocasionó impactos negativos en el rendimiento y producción de maíz en ese ciclo. Este impacto según se observa en los resultados del modelo y la información de la base de datos dio un giro en la percepción de la gestión y uso del agua al interior del DR por parte de los módulos y los usuarios.

Analizando los resultados del modelo en los ciclos 2009 y 2012 (tabla 8), se observa que la superficie sembrada y el rendimiento por hectárea no difieren considerablemente, sin embargo, el volumen de agua distribuido y la lámina bruta de riego muestran márgenes muy grandes lo cual no se refleja en el nivel de

producción. Para el año 2012 después de la catástrofe climática, una disminución en el volumen de agua distribuido de 600 mil m³ y una lámina bruta de 99 cm, permitieron producir 1,524,473 toneladas de maíz, por arriba de lo que establecía el modelo con 1,366,366.341 toneladas. Si comparamos con el año 2009 (antes de la catástrofe), con un volumen de 2,804, 266 m³, una lámina bruta de 133 cm y una menor superficie sembrada que en 2012, no lograron producir 1, 576, 915 toneladas que el modelo establecía. El cambio en la producción de maíz en el ciclo 2012 aun con una disminución de agua comparado con el 2009 según el análisis puede atribuirse a los impactos ocasionados por la helada del 2011 y una mejora en los procesos de gestión y uso del agua; para el ciclo 2009, el usuario y módulo de riego mantenían prácticas deficientes en la gestión y uso del agua pues el nivel productivo estaba por debajo de lo que establecía el modelo y lo que proporcionalmente se debía obtener con un volumen de agua distribuido y lámina bruta de riego de esa magnitud. Es importante mencionar que este DR es abastecido con agua de 3 presas de gran magnitud a las que pudiéramos atribuir la alta distribución de agua y menores impactos en ciclos de baja distribución comparada con el DR Culiacán Humaya.

Tabla 8. Análisis de resultados por ciclos en DR Rio Fuerte.

DR	Año	Superficie sembrada (has)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Modelo (Ton)	Producción Base de datos (Ton)	Volumen de agua distribuido (miles de M ³)	Lamina bruta (Cm)
Rio Fuerte	2009	142,452	10.2	1,576,915.978	1,447,892	2,804,266	133
	2011	235,947	8.3	1,860,996.323	1,014,019	3,623,238	166
	2012	148,916	10.2	1,366,366.341	1,524,473	2,197,274	99

Continuando con el análisis de resultados, otro de los casos que responden a la dinámica del resultado del modelo econométrico es la que se presenta en los ciclos 2005 y 2013 y se visualiza en la tabla 9. Considerando los impactos que pudo haber ocasionado la helada del 2011 al cultivo de maíz, y las políticas de ajuste que pudieron haber sucedido posterior a este suceso, el ciclo 2013 muestra una mejora en la gestión y uso del agua. En la tabla 9 se detallan los cambios en estos ciclos.

Tabla 9. Análisis de resultados por ciclos en DR Rio Fuerte.

DR	Año	Superficie sembrada (has)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Modelo (Ton)	Producción Base de datos (Ton)	Volumen de agua distribuido (miles de M ³)	Lamina bruta (Cm)
Rio Fuerte	2005	127,258	9.9	1,398,138.939	1,249,684	2,288,871	112
	2011	235,947	8.3	1,860,996.323	1,014,019	3,623,238	166
	2013	153,646	10.5	1,396,753.555	1,608,336	2,284,877	105

Con un volumen de agua distribuido de 2, 284, 877 m³ y una lámina bruta de 105 cm, el ciclo 2013 comparado con el 2005 realizó un incremento de 26 mil has sembradas de maíz, aun cuando el volumen de agua distribuido y lámina bruta eran menor que en el ciclo 2005; comparando el resultado en la producción de maíz del modelo con la base de datos, se confirma que en el ciclo 2013 el hecho de que la producción de la base de datos sea mayor que la del modelo pudiera responder a una eficiencia en los procesos de operación y conducción del agua o implementación de algunos insumos externos que mejoran la producción de maíz. Contrariamente para el ciclo 2005, un volumen distribuido de 2, 288, 871 m³ con una lámina bruta de 112, comparado con el ciclo 2013, solo representa deficiencia en los procesos de gestión y uso del agua pues el volumen de producción reportado por la base de datos está por debajo de lo que estima el modelo aun cuando la cantidad de agua distribuida fue mayor.

Si continúo con el análisis en el resto de los ciclos agrícolas, en 2007 y 2016 (tabla 10) se observa tal como sucedió con 2005 y 2013, un cambio en la gestión y uso del agua posterior al suceso ocurrido en 2011. En 2016, con un volumen de agua distribuido ligeramente mayor y una lámina bruta menor que en 2007, se logró sembrar 32 mil hectáreas más de maíz y por consiguiente aumentar el nivel de producción sobre lo que estimaba el modelo econométrico. También se observa una mejora en el rendimiento.

Tabla 10. Análisis de resultados por ciclos en DR Rio Fuerte.

DR	Año	Superficie sembrada (has)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Modelo (Ton)	Producción Base de datos (Ton)	Volumen de agua distribuido (miles de M ³)	Lamina bruta (Cm)
Rio Fuerte	2007	138,889	10.3	1,620,026.454	1,432,199	2,928,549	139
	2011	235,947	8.3	1,860,996.323	1,014,019	3,623,238	166
	2016	170,601	13.1	1,625,445.163	2,235,047	2,944,170	132

Tal como ha sucedido, el resto de las comparaciones entre ciclos agrícolas pudieran tomar como base los resultados entre el modelo y la base de datos así como el suceso climatológico del 2011 que repercutió negativamente a la producción de maíz en este distrito de riego y todo el Estado.

Continuando con el análisis de resultados, el **DR Guasave** a diferencia de los DR Culiacán Humaya y Rio Fuerte, tuvo un efecto fijo con signo negativo (-97,034.16). Es decir, los cambios en el volumen de agua distribuida provocan una disminución en la producción de maíz mayor en comparación con otros DR por motivos particulares de este DR. Es importante mencionar que derivado de la revisión de la base de datos y a diferencia de otros DR, en el DR Guasave prevalece la producción de frijol y garbanzo como principal cultivo (2012 y 2018, tabla 11) y en muchos otros ciclos representa el 50% de los cultivos anuales. Estas variaciones en la superficie sembrada entre maíz, frijol y garbanzo no permiten una estimación correcta del valor de la producción del modelo, dado que pareciera que con los valores de las láminas brutas de riego asignadas, las cuales son altas en la mayoría de los ciclos, pudiera alcanzarse la producción de maíz cuando se sabe que existe una gran superficie de frijol y garbanzo que fue sembrada en el mismo ciclo. A diferencia de los otros DR donde el maíz representa en la mayoría de los ciclos el 90% de la producción y permite un análisis más certero para valorar la gestión y uso del agua en el ciclo agrícola, en este DR no sucede por la rotación de cultivos.

Tabla 11. Análisis de resultados por ciclos en DR Guasave.

DR	Año	Superficie sembrada (has)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Modelo (Ton)	Producción Base de datos (Ton)	Volumen de agua distribuido (miles de M³)	Lamina bruta (Cm)
Guasave	1999	40,308	7.2	528413.1461	289,195	1,052,364	105
	2000	48,129	8.1	613922.2005	389,804	1,298,877	128
	2001	47,086	8.7	539448.3874	409,681	1,084,177	117
	2002	52,880	7.9	567657.3951	417,633	1,165,501	113
	2003	38,383	8.7	484033.5164	332,682	924,422	92
	2004	66,715	9.4	513368.8738	626,566	1,008,993	99
	2005	66,023	10.2	548830.463	644,316	1,111,225	110
	2006	71,094	9.2	694495.852	652,859	1,531,162	143
	2007	77,230	9.5	625395.0472	736,110	1,331,952	123
	2008	80,491	10.0	660488.2361	804,022	1,433,122	133
	2009	73,237	9.4	684042.0199	692,000	1,501,025	138
	2010	68,391	10.2	663390.4462	695,174	1,441,489	132
	2011	117,612	6.7	780149.8129	305,299	1,778,093	163
	2012	25,657	8.9	399733.7909	228,530	681,395	66
	2013	66,206	8.6	574576.0711	388,340	1,185,446	109
	2014	36,368	10.2	632957.8443	370,983	1,353,755	126
	2015	63,206	10.8	634230.1053	679,718	1,357,422	125
	2016	78,743	10.9	653601.9845	858,699	1,413,270	129
	2017	75,957	11.5	668735.1016	875,958	1,456,897	133
	2018	51,235	11.1	515773.5154	570,876	1,015,925	93
	2019	74,963	13.1	571128.1956	981,905	1,175,507	109
	2020	75,982	11.9	529053.5067	901,548	1,054,210	99
2021	57,309	12.5	482593.9073	714,118	920,272	86.7	
2022	61,751	12.6	476304.4434	778,990	902,140	82.8	

Para el caso del **DR Valle del Carrizo**, tal como sucedió con el DR Guasave los resultados del modelo econométrico no pueden ser aplicados en un 100% para el análisis particular de cada ciclo agrícola. Como se aprecia en los resultados del modelo en la tabla 12, posterior al ciclo 2011 se dio un cambio drástico en la estimación de la producción de maíz, la cual obedece a una reconversión de cultivos según se observa en la base de datos. Derivado de los efectos de la helada del 2011 y la disminución del volumen de agua distribuido consecuencia de una disminución en las precipitaciones, el maíz dejó de ser el principal cultivo a partir del 2013 representando solo el 10% de superficie sembrada en este DR y sustituido por el trigo, sorgo, tomatillo verde y ajonjolí.

Según se estima en los resultados, antes del 2011 donde el maíz representaba el 70% aproximadamente entre los diferentes cultivos los resultados del modelo se cumplían. Sin embargo, no es posible precisar el nivel de gestión y uso del agua debido a los resultados en los efectos fijos de la regresión donde según se observa que un incremento en la distribución de agua provoca una disminución de la producción de maíz como consecuencia de la rotación de cultivos y debido a que el maíz después del 2013 no fue el principal cultivo.

Tabla 12. Análisis de resultados por ciclos en DR Valle del Carrizo.

DR	Año	Superficie sembrada (has)	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción Modelo (Ton)	Producción Base de datos (Ton)	Volumen de agua distribuido (miles de M³)	Lamina bruta (Cm)
Valle del Carrizo	1999	21,364	6.6	138123.5415	140,517	467,570	90
	2000	17,585	7.8	166696.8363	136,961	549,944	106
	2001	15,227	8.3	151035.8568	126,042	504,795	99
	2002	33,066	8.4	181700.9614	277,259	593,199	111
	2003	25,070	8.5	121814.2753	214,273	420,552	82
	2004	29,003	8.5	99534.74555	117,985	356,323	78
	2005	36,646	9.3	144959.388	340,897	487,277	87
	2006	41,681	9.6	165226.8556	399,529	545,706	88
	2007	44,265	9.7	219930.3141	427,958	703,410	110
	2008	45,049	8.8	230714.6461	338,728	734,500	113
	2009	40,117	8.5	225044.5196	340,820	718,154	104
	2010	48,058	8.8	223759.333	422,834	714,449	101
	2011	70,065	7.9	309762.1628	183,315	962,385	135
	2012	30,014	9.5	150758.3402	211,338	503,995	91
	2013	38,282	9.5	170104.086	47,629	559,766	90
	2014	1,747	9.9	202911.2069	17,265	654,346	105
	2015	4,889	9.8	215112.9265	45,431	689,522	94
	2016	5,942	9.9	261942.7348	55,758	824,527	107
	2017	7,403	9.6	277569.2382	70,967	869,577	115
	2018	15,527	9.8	272787.9346	152,169	855,793	113
2019	17,716	9.8	260983.1594	173,621	821,761	108	
2020	17,702	11.9	244630.9398	211,203	774,619	103	
2021	15,667	11.9	203831.9143	186,436	657,000	94.4	
2022	13,543	11.2	205202.4268	151,208	660,951	94.8	

Continuando con el análisis de resultados, para el caso de los **DR Mocorito, Elota Piaxtla y Rio San Lorenzo**, el cruce de los resultados del modelo econométrico comparado con la base de datos muestran un comportamiento que si corresponde a la dinámica de cultivos y variaciones en la distribución de agua en cada ciclo. Aun cuando son DR con superficies sembradas menores en comparación con los DR

Culiacán Humaya y Rio Fuerte, los resultados del modelo parecieran tener mayor precisión pues las variaciones entre cultivos, láminas brutas de riego, volumen de agua distribuido y rendimiento son más fáciles de identificar.

En el **DR Rio San Lorenzo**, los resultados muestran que no hubo un cambio drástico respecto a la caída en la producción de maíz a consecuencia del fenómeno climatológico del 2011; se observa en los ciclos 2012, 2013, 2014 y 2015 una mejora en la gestión y uso del agua a consecuencia de una baja distribución pues la producción de maíz estimada por el modelo está ligeramente por debajo de la reportada en la base de datos. Tal como sucedió en el DR Culiacán Humaya, vecino de este DR, en los mismos ciclos agrícolas se observa que con láminas brutas de riego que oscilan entre 73 y 85 cm a consecuencia de una baja distribución de agua se cumple la estimación del modelo. También en esos ciclos se observa una mejora en el rendimiento de toneladas por hectárea que pudiera atribuirse al uso de otros insumos y que representan la diferencia entre la producción estimada por el modelo y la base de datos.

Anterior al 2010 los resultados muestran que aun con una distribución alta de agua observable en las láminas brutas de riego los resultados que el modelo estimaba en la producción de maíz y comparados con la base de datos no se alcanzaban.

Son valiosos los resultados de este DR pues de manera micro y sin encontrar cambios en los cultivos en ciclos de baja distribución el modelo econométrico tiene mayor validez.

El **DR Elota Piaxtla** según se observa en los volúmenes de agua distribuida y el nivel de la lámina bruta, pareciera gozar de una mayor cantidad de agua para el desarrollo del cultivo de maíz. Se observa que los resultados del modelo son equiparables con los resultados de la base de datos en láminas que van de los 104 a los 125 cm (ciclos 2005, 2007, 2020 y 2021), muy por arriba de los otros DR. En ciclos de baja distribución como en 2012, se optó por una reducción de la superficie sembrada y no una disminución de la lámina bruta que provocara una mejora en la gestión y uso del agua. Es decir, sacrifican superficie cultivada para no mejorar los

procesos de gestión del agua mediante mejoras en la operación y conducción del agua.

Del 2013 al 2022, se observa que los resultados del modelo sobre producción de maíz están por debajo de los resultados de la base de datos; solo en 2020 y 2021 una disminución de la superficie sembrada a consecuencia de una baja distribución de agua provocó que los resultados del modelo econométrico y de la base de datos empataran. Lo anterior permite inferir que este DR no realiza mejoras en la gestión y uso del agua en ciclos de baja distribución sino que limita la cantidad de hectáreas sembradas aun con excesos de agua. El incremento de la producción de maíz puede atribuirse en medida al incremento desmedido del agua y también al uso de insumos mejorados.

Finalmente, el análisis de resultados del **DR Mocrito** es único y no es comparable con ningún otro DR. A diferencia de otros DR en este distrito existe una variedad y alternancia de cultivos que se adapta a las condiciones de disponibilidad de agua en cada ciclo. A consecuencia de la baja distribución de agua en el 2012 se dejó de cultivar maíz casi en su totalidad sustituyéndolo por cártamo, garbanzo, frijol y sorgo principalmente. Se identificó en la base de datos que en ciclos donde mejora la distribución de agua hay un aumento considerable en la superficie sembrada y producción de maíz pero no representa más del 50% de todos los cultivos.

Esta inestabilidad en cultivos derivado de la cantidad de agua distribuida en cada ciclo no permite tomar con precisión los resultados del modelo y cruzarlos con la base de datos. No son claros los procesos de gestión y uso del agua derivado de las láminas brutas de riego y las consideraciones respecto a la rotación de cultivos en ciclos de escases.

A diferencia del DR Valle del Carrizo el cual presentó una reconversión de cultivos después de los eventos climáticos del 2011 y 2012, en este DR la rotación de cultivos como maíz, cártamo, garbanzo, frijol y sorgo principalmente, es en respuesta al nivel de agua disponible para cada ciclo causando una inestabilidad en la oferta que no es predecible y sostenible.

Derivado del análisis se obtienen los siguientes resultados de aplicación general:

1. El fenómeno climatológico de febrero del 2011 provocó una ruptura en los patrones de aprovechamiento y uso del agua para el cultivo de maíz en los siete DR analizados.
2. La escases de agua en el ciclo 2012 obligó a todos los DR a mejorar sus procesos de gestión y hacer un uso eficiente del agua para alcanzar redituables niveles productivos.
3. Se identificaron tres etapas de 1999 al 2022 en relación con la gestión y uso del agua derivado del cruce de resultados entre la estimación del modelo econométrico y la base de datos. De 1999 al 2009, donde hubo una alta distribución de agua y baja superficie sembrada y la eficiencia en gestión y uso del agua prácticamente no existía pues los resultados del modelo difícilmente eran alcanzados por la base de datos; del 2010 al 2014, ciclos donde era observable mejoría en los procesos de gestión y uso del agua como consecuencia del uso de láminas brutas de riego bajas y niveles de producción acorde al modelo, rotación y reconversión de cultivos. Del 2015 al 2022, ciclos donde se identificaron altos volúmenes de agua distribuida a través de sus láminas brutas de riego y un incremento en el rendimiento de maíz por hectárea posiblemente atribuible al uso de insumos mejorados.
4. De 2012 a la fecha se ha prolongado una inestabilidad en la disponibilidad de agua a consecuencia de las variaciones climáticas principalmente en el centro del Estado, identificando los mayores ajustes en la gestión y uso del agua en los DR Culiacán Humaya, Rio San Lorenzo, Elota Piaxtla y Mocolito. En el norte del Estado se goza de una mayor disponibilidad de agua.
5. La presencia de clústeres agrícolas con comportamientos al interior y resultados del modelo econométrico similares: Guasave – Mocolito, y Culiacán Humaya – Rio San Lorenzo – Elota Piaxtla.
6. El modelo econométrico permite un mayor análisis en DR con vocación agrícola al maíz al apreciar los resultados estimados en los ciclos de baja distribución. En DR con rotación y variedad de cultivos, el modelo econométrico sufre de precisión para identificar tendencias a la eficiencia en la gestión y uso del agua.

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

Para concluir esta tesis, en este último capítulo de conclusiones y consideraciones abordaremos los planteamientos iniciales que problematizaban el tema de la gestión y uso del agua en el cultivo de maíz en distritos de riego de Sinaloa. Lo anterior para responder al cumplimiento de la hipótesis y las preguntas que guiaban esta tesis, así como consideraciones importantes de interés público y científico que propicien futuras líneas de investigación.

Retomando la hipótesis de esta tesis, la cual plantea que la gestión y uso del agua en el cultivo de maíz es deficiente en los distritos de riego de Sinaloa y que existen ciclos de baja distribución en que se promueve una mejora en los procesos de gestión y uso del agua la cual permite alcanzar niveles de producción estimados, y derivado del análisis de resultados anteriormente expuesto se puede concluir que la hipótesis se cumple tal como ha sido propuesta; se identificaron ciclos de alta distribución de agua donde los resultados en producción de maíz no muestran una eficiencia en la gestión y uso del agua, contrariamente a consecuencia de fenómenos climáticos se propició una mejora en la gestión y uso del agua en el cultivo de maíz en ciclos agrícolas posteriores al 2011.

Derivado del fenómeno climatológico (helada) presentada en febrero del 2011 que provocó la pérdida de 415, 704 hectáreas de maíz y dejaron de producirse 4.3 millones de toneladas de maíz aproximadamente, así como una drástica caída en la distribución de agua en el ciclo 2011-2012 obligó a los administradores y usuarios del agua en los DR de Sinaloa a gestionar y usar el agua eficientemente; lo anterior es observable en los ciclos 2013, 2014, 2015, 2020 y 2021, principalmente en los DR Culiacán Humaya, Rio Fuerte, Rio San Lorenzo y Elota Piaxtla. En los DR Guasave y Mocorito se presentaron rotación de cultivos entre garbanzo, cártamo, frijol y sorgo en los ciclos de baja distribución de agua, y en el DR Valle del Carrizo se identificó una reconversión de cultivos de maíz a trigo y sorgo principalmente.

De acuerdo con los resultados se identificaron 3 ciclos agrícolas que mostraron cambios significativos en el nivel de producción de maíz y el volumen de agua distribuido asociados en gran medida a una mejora en los procesos de gestión y

uso del agua en los DR de Sinaloa. El ciclo 2010-2011 marcado por los impactos de la helada representó un cambio en la percepción sobre la importancia del agua y la vulnerabilidad del sector agrícola a los fenómenos naturales; marcó una ruptura en los cultivos y en el valor del agua en ciclos de baja distribución. Una escases de agua en el ciclo 2011-2012 vino a fortalecer la percepción sobre la importancia y uso racional del agua alcanzando en los próximos ciclos los volúmenes de maíz deseados con el uso de láminas brutas de riego bajas así como los volúmenes de agua distribuidos. En los ciclos 2020 y 2021 también se observaron cambios en la producción de maíz a consecuencia de una baja distribución de agua pero asociados según nuestro modelo econométrico a una mejora la gestión y uso del agua por el DR, módulo de riego y usuarios.

Se identifica en los principales DR una ruptura en el ciclo 2011 en la que de acuerdo con los resultados y de manera generalizada pudiéramos concluir que antes de este ciclo existía un mal aprovechamiento del agua y no existía una gestión y uso del agua eficientemente aun en ciclos de baja distribución. Posterior al 2011 se observa un uso más racional del agua principalmente en ciclos de baja distribución, y en ciclos normales hay un exceso en la producción de maíz por encima de la estimación del modelo lo cual pudiera atribuirse a un incremento de agua así como el uso de insumos mejorados que no se consideran en esta tesis pero que los incrementos en los rendimientos por hectárea así pudieran demostrarlo.

Respecto a la relación y comportamiento de los DR, se identifican clústeres agrícolas que comparten misma dinámica de acuerdo con los resultados del modelo e información de la base de datos. DR Culiacán Humaya, Rio San Lorenzo y Elota Piaxtla comparten resultados similares y no presentan cambios en rotación y reconversión de cultivos en todo el periodo. A diferencia, los DR Guasave y Mocorito según se comporte la distribución de agua realizan rotación de cultivos entre maíz, garbanzo, cártamo y sorgo principalmente. El DR Valle del carrizo fue el único que tras los impactos de la helada del 2011 y escases de agua del 2012 tuvo una reconversión de cultivos de maíz a trigo, sorgo y tomatillo. Rio Fuerte es un DR que goza de un volumen de agua distribuido y láminas brutas de riego altas para el

cultivo de maíz y han estado acostumbrados a un uso ineficiente del agua principalmente antes del 2011, han mostrado avances en la gestión y uso del agua en los últimos años pero aun en ciclos de baja distribución siguen utilizando volúmenes de agua que rebasan láminas brutas de 100 cm.

El sector agrícola y en especial el cultivo de maíz en Sinaloa enfrentan serias problemáticas que vulneran e impiden el desarrollo generalizado de una gestión y uso del agua eficiente al interior de los DR. La dependencia al agua superficial y de uso agrícola al 93% según lo estima CONAGUA obligan a los gestores y usuarios del agua a optimizar este recurso en ciclos de baja distribución cuando se han identificado problemáticas en conducción y uso en parcelas que debieran mejorar aun en ciclos normales para incrementar el uso eficiente del agua más allá del 35% que actualmente se usa.

Dentro de las consideraciones y en relación con las diferentes problemáticas identificadas en la conducción y uso del agua en parcelas, existen acciones estructurales y no estructurales que podrían mejorar la gestión y uso del agua en el cultivo de maíz en Sinaloa. Las acciones estructurales refieren a obras en la red hidráulica de canales y en parcelas que requieren fuertes inversiones de dinero para llevarlas a cabo; Las segundas son acciones que no requieren de inversiones económicas considerables, y que pueden ser igual o más efectivas que las primeras pues refieren a mejoras en la operación, control, seguimiento, capacitación y modificaciones menores en la red secundaria de canales y en parcelas. Las acciones para mejorar los procesos de gestión y uso del agua al interior de los DR de Sinaloa son compartidas y requieren de la voluntad de instituciones que administran las fuentes de abastecimiento de agua y brindan el servicio de riego así como de los usuarios del agua en parcelas. Una gestión eficiente del agua debe normalizar y estandarizar las medidas de eficiencia en el uso agrícola del agua.

La presencia de fenómenos climatológicos que alteren la disponibilidad de agua en entidades con alta dependencia como Sinaloa, debe preocupar sobre los efectos en la economía que liga a los otros sectores productivos y podría repercutir en la dinámica de crecimiento de la economía estatal. Considerando las estimaciones

para el ciclo 2023-2024 según lo precisa el Consejo Estatal Agropecuario de Desarrollo Sustentable (2023) y el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Sinaloa, a consecuencia de la escases de agua se dejaron de sembrar en el Estado un poco más de 250 mil hectáreas.

El problema tan recurrente de sequias y la crisis hídrica a nivel nacional puede ser consecuencia del cambio climático, pero también es claro que no existe una eficiente gestión de los recursos hídricos en el país. Amortiguar los efectos de estas variaciones climáticas es importante para continuar con la sostenibilidad productiva y económica, pero avanzar en la atención de sus causas es fundamental. Los cultivos de alta demanda de agua como el maíz requieren una atención urgente, se debe promover e incentivar el uso de tecnología y equipo que logre una mayor eficiencia en el uso de agua.

Para lograr una eficiente gestión y uso del agua en la agricultura es urgente un replanteamiento de la política y legislación sobre gestión del agua en Sinaloa, especialmente sobre los administradores y usuarios del agua en el sector agrícola. Se requiere una educación y capacitación constante sobre el uso correcto del agua principalmente a los usuarios y personal operativo para lograr la eficiencia técnica en los diferentes cultivos y evitar el uso de láminas brutas de riego innecesarias. La coordinación entre gobierno, academia, gestores y usuarios del agua puede fortalecer los programas encaminados a mejorar y estandarizar los procesos de gestión del agua al interior de las unidades de producción, módulos y distritos de riego. La inversión gubernamental y privada en el mejoramiento de la infraestructura hidroagrícola es fundamental para reducir las pérdidas principalmente en la conducción.

Entender la problemática de gestión y uso del agua en el cultivo de maíz y agricultura en general no es tarea fácil. Como lo plantean Savenije y Van der Zaag (2008), la gestión del agua debe ser entendida de manera integral y considerar todos los elementos y actores que intervienen pues bien representaría un sistema integral de gestión del agua.

Respecto a la trascendencia de esta investigación, se concluye que es una investigación original que combina el análisis cuantitativo con elementos cualitativos que fundamentan los resultados alcanzados. En relación con otras investigaciones, son muy pocas las que hacen un acercamiento a la gestión y uso del agua con el uso de bases de datos y modelos econométricos, se enfocan mayormente en el análisis de la eficiencia técnica del uso del agua en un solo cultivo y los factores de producción utilizados.

Como consideraciones particulares sobre esta línea de investigación se propone la identificación puntual de los factores que intervienen en los procesos de gestión y uso del agua y una medición al interior de los módulos y distritos de riego en Sinaloa; mediante la asignación de valores interpretar el grado de eficiencia en la gestión y uso del agua y mediante herramientas geoespaciales demostrar los resultados obtenidos.

Referencias Bibliográficas

- (SIAP), S. de I. A. y P. (2017). *Sinaloa*. Ciudad de México.
- Agroasemex. (2018). AGROASEMEX, asegura una superficie de más de 233 mil hectáreas de cultivo en el estado de Sinaloa. Recuperado el 7 de agosto de 2023, de <https://www.gob.mx/agroasemex/prensa>
- Altamirano-Aguilar, A., Valdez-Torres, J., Valdez-Lafarga, C., León-Balderrama, J., Betancourt-Lozano, M., & Osuna-Enciso, T. (2019). Evaluación del desempeño de distritos de riego en México mediante análisis de eficiencia técnica. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(1), 85–121. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-01-04>
- Amaya-Ventura, M. de L. (2013). Transformaciones de la acción pública y del espacio público en el ámbito de la gestión del agua en México. *Espacialidades*, 2(2), 129–148.
- Andrade-Servín, A. G., Guerrero-García, H. R., & Colín-Martínez, R. (2020). Análisis econométrico de la disponibilidad de agua para producción agrícola de riego en México (2003-2015). *Ecosistemas*, 29(2), 1–10. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1816>
- ANUR. (2023). Módulos De Riego. Recuperado el 10 de agosto de 2023, de Asociación Nacional de Usuarios de Riego A.C. website: <https://anur.org.mx/modulosderiego/>
- Araújo-Vila, N., Fraiz-Brea, J. A., & Cardoso, L. (2019). Gestión del agua en la agricultura. Análisis de países con potencial de crecimiento. *Agroalimentaria*, 24. Num. 4(1316–0354), 25–42.
- Arnold, M., & Osorio, F. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Cinta de Moebio: Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*, (3).
- Arrojo-Agudo, P., & Naredo, J. M. (1997). *La gestión del agua en España y California* (Primera). Recuperado de https://books.google.com.mx/books?id=edlwEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Banco Mundial. (2017). El agua en la agricultura. Recuperado el 7 de noviembre de 2022, de <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#1>
- Banco Mundial. (2022). Agua: Panorama general. Recuperado el 12 de noviembre de 2022, de <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>
- Bauer, C. (2004). Results of Chilean water markets: Empirical research since 1990. *Water Resources Research*, 40(9), 1–11. <https://doi.org/10.1029/2003WR002838>
- Becerra-Pérez, L. A. (2024). La sequía en México y su impacto en Sinaloa.

Recuperado el 15 de abril de 2024, de Dirección de Comunicación Social, UAS website: <https://dcs.uas.edu.mx/noticias/8726/el-impacto-economico-de-la-sequia-en-sinaloa-seria-de-15-mil-millones-de-pesos-el-2-del-pib-estatal-asegura-especialista-de-la-nueva-universidad>

Bertalanffy, L. V. (2006). *Teoría General de los Sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones* (Segunda). Fondo de Cultura Económica.

Boden, M. A. (2000). Autopoiesis and Life. *Cognitive Science Quarterly*, 1, 117–145.

CGIAR Research Program on Climate, A. and F. S. (2021). *Agricultura climáticamente inteligente en Sinaloa, México*.

Chang, M. Y. (2005). ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable. En G. Foladori & N. Pierri (Eds.), *Economía Ambiental* (Primera). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/304783779_Sustentabilidad_Desacuerdos_sobre_el_desarrollo_sustentable

CIMMYT. (2021). El uso eficiente del agua en la agricultura. Recuperado el 7 de noviembre de 2022, de Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo website: <https://idp.cimmyt.org/el-uso-eficiente-del-agua-en-la-agricultura/>

CONAGUA. (2017). 28 años al servicio del agua de México | Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 15 de octubre de 2022, de <https://www.gob.mx/conagua/articulos/28-anos-al-servicio-del-agua-de-mexico?idiom=es>

CONAGUA. (2019a). Estadísticas del Agua en México. Recuperado el 15 de octubre de 2022, de https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2019.pdf

CONAGUA. (2019b). *Estadísticas del Agua en México 2019* (S. de M. A. y R. Naturales, Ed.). Recuperado de www.conagua.gob.mx

CONAGUA. (2019c). Usos del Agua. Recuperado el 20 de enero de 2023, de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua>

CONAGUA. (2020a). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el Acuífero Río Culiacán (2504), Estado de Sinaloa*. Recuperado de https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/sinaloa/DR_2504.pdf

CONAGUA. (2020b). Supervisan avances en la construcción de la Presa Santa María y su zona de riego. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de <https://www.gob.mx/conagua/prensa/supervisan-avances-en-la-construccion-de-la-presa-santa-maria-y-su-zona-de-riego>

CONAGUA. (2023a). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Recuperado el 8 de diciembre de 2023, de Documentos website: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>

- CONAGUA. (2023b). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Recuperado el 8 de diciembre de 2023, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA. (2023c). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado el 20 de junio de 2023, de <https://www.gob.mx/imta/que-hacemos>
- CONAGUA. (2023d). Sistema Nacional de Información del Agua. Recuperado el 14 de noviembre de 2023, de <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/>
- CONAGUA (2020). (s/f). Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) / Volúmenes Inscritos (estatal). Recuperado el 11 de octubre de 2022, de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=reporte&o=0&n=estatal>
- Consejo Estatal Agropecuario de Desarrollo Sustentable, G. del E. de S. (2023). Aprueba Consejo Estatal Agropecuario el plan de siembra 2023-2024. Recuperado el 9 de julio de 2024, de <https://sinaloa.gob.mx/aprueba-consejo-estatal-agropecuario-el-plan-de-siembra-2023-2024/>
- Corona, R. A. (2012). Economía del medio ambiente y de los recursos naturales. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 23(91). <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.1992.91.33141>
- De la torre-Villar, E., & Navarro-De anda, R. (1988). *Metodología de la investigación* (Primera). Recuperado de https://www.academia.edu/43879826/ERNESTO_DE_LA_TORRE_VILLAR_R_AMIRO_NAVARRO_OE_ANDA_Metodología_dala_BIBUOGRAFICA_ARCHIVISTICA_Y_DOCUMENTAL
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Chávez, G. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. *Serie Recursos Naturales e Infraestructura*, 47, 83. <https://doi.org/1680-9025>
- Escalante, S. R., & Catalán, A. H. (2005). Economía Ambiental: Una Revisión Temática y Bibliografía Actual. *Economía Informa*, 333, 102–116. Recuperado de <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/reseconinforma/pdfs/333/10ESCALANTE.pdf>
- Española, R. A. (2021). Definición | Diccionario de la lengua española | RAE. Recuperado el 12 de noviembre de 2022, de <https://dle.rae.es/gestión>
- Exteriores, M. F. de R. (2022). Foro Mundial del Agua en Dakar: afrontar los desafíos del siglo XXI en materia de agua y saneamiento. Recuperado el 30 de noviembre de 2022, de <https://www.diplomatie.gouv.fr/es/politica-exterior/desarrollo/noticias/articulo/foro-mundial-del-agua-en-dakar-afrontar-los-desafios-del-siglo-xxi-en-materia>
- Fernandez-Menendez, J. (2024). Agua y criminales en Sinaloa y Sonora.

Recuperado el 13 de agosto de 2024, de Excelsior website:
<https://www.excelsior.com.mx/opinion/jorge-fernandez-menendez/agua-y-criminales-en-sinaloa-y-sonora/1659663>

- Fierros, Benítez, A. G. (2014). El milagro mexicano: Legado de la Revolución. *Horizonte Histórico - Revista semestral de los estudiantes de la Licenciatura en Historia de la UAA*, (9), 116–122. <https://doi.org/10.33064/HH.VI9.1260>
- Figueroa-Elenes, J. R. (2024). La crisis hídrica en Sinaloa. Agricultura, sequía y mala gestión de los recursos hídricos. *Revista Espejo*. Recuperado de <https://revistaespejo.com/reflexiones/la-crisis-hidrica-del-agua-en-sinaloa-agricultura-sequia-y-mala-gestion-de-los-recursos-hidricos/>
- Forero-Ballesteros, L. C. (2017). *Mortalidad por desnutrición en menores de cinco años, aproximación estadística de los determinantes, Colombia 2009-2012* (Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59492/806564292016.pdf>
- Garcés-Durán, J. A. (2011). Paradigmas del conocimiento y sistemas de gestión de los recursos hídricos: La gestión integrada de cuencas hidrográficas. *Revista Virtual REDESMA*, 5(1), 1–74. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/42965011.pdf>
- Global Water Partnership. (2000). Manejo integrado de recursos hídricos. *TAC Background Papers*, 4(91-631-0058–4), 80 pp. Recuperado de www.gwpforum.org
- Global Water Partnership. (2022). ¿Qué es la GIRH? Recuperado el 15 de noviembre de 2022, de <https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/ACERCA/como/Que-es-la-GIRH/>
- Guerrero, E., De Keizer, O., & Córdoba, R. (2006). La aplicación del enfoque ecosistémico en la gestión de los recursos hídricos. *UICN - Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos*, (978-9978-44-918–9), 78 pp.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Econometría* (Quinta edi; S. A. D. C. V. McGRAW HILL/INTERAMERICANA EDITORES, Ed.). México, D.F.
- Guzman-Soria, E., De la Garza-Carranza, M. T., Hernández-Martínez, J., Rellonar-Rellonar, S., González-Razo, F., & García-Salazar, J. (2010). Análisis econométrico sobre el consumo de agua subterránea por el sector agropecuario en Guanajuato, México. *Ciencia ergo sum*, 17(2), 159–164.
- Haken, H. (1977). Synergetics, reveals the common features of science. *Physics Bulletin*, 6(11), 951–952. Recuperado de <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Hartley-Ballesteros, M. (2018). Economía ambiental y economía ecológica: un balance crítico de su relación. *Economía y Sociedad*, 33–34, 55–65.

- Recuperado de
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/economia/article/view/74/47>
- Ibarrarán, M. E., Mendoza, A., Pastrana, C., & Manzanilla, E. J. (2017). Determinantes socioeconómicos de la calidad del agua superficial en México. *Región y sociedad*, 29(69), 89–125. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252017000200089&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v29n69/1870-3925-regsoc-29-69-00089.pdf
- INEGI. (2011). Estadísticas a propósito del Día Mundial contra la Desertificación y la Sequía. Recuperado el 21 de julio de 2023, de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2022/EAP_Poblac22.pdf
- INEGI. (2023). Censo Agropecuario 2022. Resultados oportunos. Recuperado el 15 de noviembre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2022/>
- INEGI, I. N. de E. y G. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Sinaloa 2017*.
- Jeffrey, P., & Gearey, M. (2006). Integrated water resources management: Lost on the road from ambition to realisation? *Water Science and Technology*, 53(1), 1–8. <https://doi.org/10.2166/wst.2006.001>
- Kolstad, C. D. (2000). Environmental Economics. En *Oxford University Press*. [https://doi.org/10.1016/S0301-4207\(00\)00036-2](https://doi.org/10.1016/S0301-4207(00)00036-2)
- Kuhn, T. S. (2013). *La estructura de las revoluciones científicas* (Cuarta; F. de C. Economica, Ed.). Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=chSGDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=estructura+de+las+revoluciones+científicas&ots=NsBynJalJ&sig=-ysR0e_DdlqS2MqhSpCaO4wZALU#v=onepage&q=estructura de las revoluciones científicas&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=chSGDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=estructura+de+las+revoluciones+científicas&ots=NsBynJalJ&sig=-ysR0e_DdlqS2MqhSpCaO4wZALU#v=onepage&q=estructura+de+las+revoluciones+científicas&f=false)
- Latorre-Estrada, E. (1996). *Teoría General de Sistemas Aplicada a a Solución Integral de Problemas* (Primera; U. del Valle, Ed.). Santiago de Cali, Colombia.
- Leff, E. (2007). La Complejidad Ambiental. *Polis, Revista Latinoamericana*, 16(0718–6568), 7–53. Recuperado de <http://journals.openedition.org/polis/4605>
- Liu, J., Yang, H., Gosling, S., Kummu, M., Flörke, M., Pfister, S., ... Oki, T. (2017). Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earth's Future*, 5(6), 545–559. <https://doi.org/10.1002/2016EF000518>
- Lopez, L. D. A. (2009). *Antecedentes de la Gestión Hidrica en México*.
- Luhmann, N. (1999). *Politique et complexité*. 43 p.
- Martinez-Erades, C. (2012). *Gestión integral de los recursos hídricos* (Fundación). Recuperado de <https://www.eumed.net/libros->

gratis/2013/1240/Marco_teorico_de_la_Gestion_Integral_de_los_Recursos_Hidricos.htm

- Martínez-Valdés, Y., & Villalejo-García, V. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, XXXIX(1), 58–72.
- Millan-Lopez, A. J., & Soto-Zazueta, I. M. (2020). Determinantes de la eficiencia técnica del sector de granos básicos en México: Un análisis de fronteras estocásticas. *Ciencia y Universidad*, 41(0185–6618), 33 pp.
- Monroy-Varela, S. E., Díaz-Morales, H., Gómez-Nivia, F. H., & Camacho-Ardila, W. D. (2015). EVALUACIÓN DE IMPACTO DE POLÍTICAS Y PROGRAMAS A TRAVÉS DE MICROSIMULACIÓN. *Congreso Ibero Americano de Gestión Tecnológica*, 20. Recuperado de <https://altec2015.nitec.co/altec/papers/286.pdf>
- Montiel-Gutierrez, M., Herrera-Ponce, J., Angeles-Hernandez, J., Quevedo-Tiznado, J., Castillo-Gonzalez, J., Flores-Velázquez, J., ... Fuentes-Ruiz, C. (2019). *Seguimiento y Evaluación del Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT) en los Estados de Sinaloa y Nayarit*. Jiutepec, Morelos, México.
- Morin, E. (2004). *El método* (Tomo 6). París.
- Morin, Edgar. (1993). El desafío de la globalidad. *Archipiélago: Cuadernos de crítica de la cultura*, ISSN 0214-2686, N° 16, 1993, págs. 66-72, (16), 66–72. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2762147>
- Novalés, A. (2010). *Análisis de Regresión*. Madrid, España.
- OECD. (2012). OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. En *OECD*.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2022). Gestión del agua con fines agrícolas | OIEA. Recuperado el 12 de noviembre de 2022, de <https://www.iaea.org/es/temas/gestion-del-agua-con-fines-agricolas>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). ODS 6. Agua potable y saneamiento | Objetivos de Desarrollo Sostenible |. Recuperado el 12 de noviembre de 2022, de <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/goals/sdg-6/es/>
- Ortega-Gaucin, D. (2013). Factores socioculturales que limitan la gestión y el uso sustentable del agua: el caso del Distrito de Riego 005 Delicias, Chihuahua. *Artículos y Ensayos de Sociología Rural*, 8(16), 6–19. Recuperado de https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2014/04/Factores_socioculturales_DR_005.pdf
- Pahl-Wostl, C. (2007). Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water Resources Management*, 21(1), 49–62. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9040-4>

- Pahl-Wostl, C. (2015). *Water Governance in the Face of Global Change: From Understanding to Transformation*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21855-7>
- Pahl-Wostl, C. (2017). An Evolutionary Perspective on Water Governance: From Understanding to Transformation. *Water Resources Management*, 31(10), 2917–2932. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1727-1>
- Pahl-Wostl, C., Isendahl, N., Möllenkamp, S., Brugnach, M., Jeffrey, P., Medema, W., & Tessa de Vries, T. (2006). Paradigms in Water Management: Report of the NeWater project-New Approaches to Adaptive Water Management under Uncertainty. *NeWater*, 39.
- Palacios-Vélez, E., Palacios-Sánchez, L. A., & Espinosa-Espinosa, J. L. (2018). Evaluación de la eficiencia del uso del agua en la agricultura apoyada por imágenes satélites. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(1), 31–38. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2018-01-02>
- Palerm-Viqueira, J. (2020). Caracterización de los módulos de los distritos de riego y presencia de organizaciones locales. *Región Y Sociedad*, 32, e1335. <https://doi.org/10.22198/rys2020/32/1335>
- Pedroza-Acuña, A. (2020). Hacia una agricultura eficiente y sustentable. *PERSPECTIVAS IMTA*, 21. <https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2020-21>
- Pedroza-Acuña, A. (2022). Escases de Agua en Presas. *Perspectivas, IMTA*, 23. <https://doi.org/https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2022-23>
- Pedroza-Gonzalez, E., & Hinojosa-Cuéllar, G. (2013). *Manejo y distribución del agua en distritos de riego* (Primera). Recuperado de www.imta.gob.mx
- Pedroza, G. E., & Hinojosa, C. G. A. (2022). *Introducción a la operación de canales de riego en México* (Instituto). <https://doi.org/https://doi.org/10.24850/b-imta-2022-02>
- Peinado-Guevara, V., Camacho-Castro, C., Bernal-Domínguez, D., Delgado-Rodríguez, O., & Peinado-Guevara, H. (2012). Programas de conservación de obras en distritos de riego como alternativa sustentable en la administración del agua de uso agrícola. *Ra Ximhai*, 8(2), 367–380. <https://doi.org/10.35197/rx.08.02.2012.12.vp>
- Pereira-Chaves, J. M. (2010). Consideraciones básicas del pensamiento complejo de Edgar Morin. *Revista Electrónica@ Educare*, 14–1(1409-42–58), 67–75. <https://doi.org/http://doi.org/10.15359/ree.14-1.6>
- Perez-Lopez, C. (2006). *Problemas resueltos de econometría*. Madrid, España.
- Portillo, F. (2006). Concepto, método y evolución de la Econometría. En U. de la Rioja (Ed.), *Introducción a la econometría* (p. 16). Recuperado de <https://www.unirioja.es/cu/faportil/ie>
- Ramírez-Sánchez, A. S., Ibarra-Armenta, C. I., & Leos-Rodríguez, J. A. (2021).

Evaluación de la administración de la infraestructura de riego por parte de Asociaciones de Usuarios de Módulos de Riego: El caso de Culiacán 010, módulos I-3 y IV-3, 2011-2017. *Acta Universitaria, Multidisciplinary Scientific Journal*, 31. <https://doi.org/http://doi.org/10.15174/au.2021.2807>

Rosales-Garcia, L. A. (2013). *Econometría II*.

Salgado-López, J. (2022). Los mercados y bancos de agua en México, apuntes para la reflexión. *Perspectivas IMTA*, 3(36). <https://doi.org/10.24850/B-IMTA-PERSPECTIVAS-2022-36>

Savenije, H. H. G., & Van der Zaag, P. (2008). Integrated water resources management: Concepts and issues. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33(5), 290–297. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.003>

SEMARNAT. (2018). SEMARNAT. Recuperado el 12 de junio de 2024, de Compendio de Estadísticas Ambientales website: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2018/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet56c1.html

SEMARNAT (2022). (s/f). Precipitación media histórica por entidad federativa. Recuperado el 11 de octubre de 2022, de http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_AGUA_01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=* &NOMBREANIO=*

Sifuentes, I. E., Macias, C. J., Quintana, Q. J., Corral, V. R., Gonzalez, C. V., & Ojeda, B. W. (2012). *Tecnologías de riego bajo condiciones de escasez de agua en maíz*. Guasave, Sinaloa.

Sinaloa, G. del E. de. (2024). El plan general de siembra del Estado de Sinaloa 2024. Recuperado el 16 de abril de 2024, de <https://sinaloa.gob.mx/el-plan-general-de-siembra-del-estado-es-de-670-mil-hectareas-considerando-ya-el-consumo-humano-de-agua-ismael-bello/>

Sosa-Rodríguez, F. S. (2012). El futuro de la disponibilidad del agua en México y las medidas de adaptación utilizadas en el contexto internacional. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades*, 12(2), 165–187.

Stock, J., & Watson, M. (2007). *Introduction to Econometrics* (2da.; Addison – Wesley / Prentice Hall, Ed.).

Urteaga, E. (2010). La teoría de sistemas de Niklas Luhmann. *Contrastes. Revista Internacional de Filosofía*, 15(1136–4076), 301–317. <https://doi.org/10.24310/contrastescrastes.v15i0.1341>

Valencia-Vargas, J.C., Diaz-Nigenda, J. J., Ibarrola-Reyes, H. J. (2007). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado el 12 de noviembre de 2022, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/452/valencia.html>

Van Der Zaag, P. (2005). Integrated Water Resources Management: Relevant concept or irrelevant buzzword? A capacity building and research agenda for

- Southern Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30(11-16 SPEC. ISS.), 867–871. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.08.032>
- Wang, C., & Blackmore, J. M. (2009). Overview of resilience concepts, with application to water resource systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135(6), 38 pp. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2009\)135:6\(528\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2009)135:6(528))
- Wooldridge, J. M. (2013). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (5ta.). Recuperado de https://economics.ut.ac.ir/documents/3030266/14100645/Jeffrey_M._Wooldridge_Introductory_Econometrics_A_Modern_Approach__2012.pdf
- World Bank. (2022). Water Resources Management. Recuperado el 15 de noviembre de 2022, de <https://www.worldbank.org/en/topic/waterresourcesmanagement>
- Zambrano-medina, Y. (2022). Shoreline analysis and erosion risk assessment of a coastal strip subjected to high anthropogenic pressure. *Tecnologías y Ciencias del Agua*, 0(6), 249–300. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-13-06-06>
- Zellner, A. (1962). An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias. *Journal of the American Statistical Association*, 57(298), 348–368. <https://doi.org/10.1080/01621459.1962.10480664>
- Zhao, Z., Wang, H., Zhang, L., & Liu, X. (2022). Synergetic Development of “Water Resource–Water Environment–Socioeconomic Development” Coupling System in the Yangtze River Economic Belt. *Water*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/w14182851>
- Zhu, Q., Shen, L., Liu, P., Zhao, Y., Yang, Y., Huang, D., ... Yang, J. (2015). Evolution of the Water Resources System Based on Synergetic and Entropy Theory. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(6), 2727–2738. <https://doi.org/10.15244/pjoes/59236>
- Zuñiga, D., & Mendoza, R. (2021). *Gestión y manejo del agua en la agricultura*.